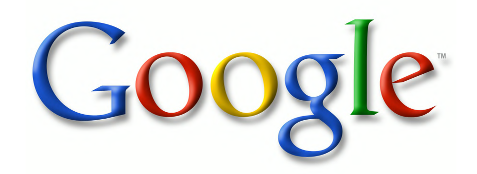
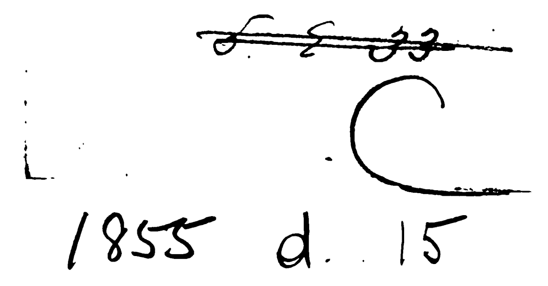
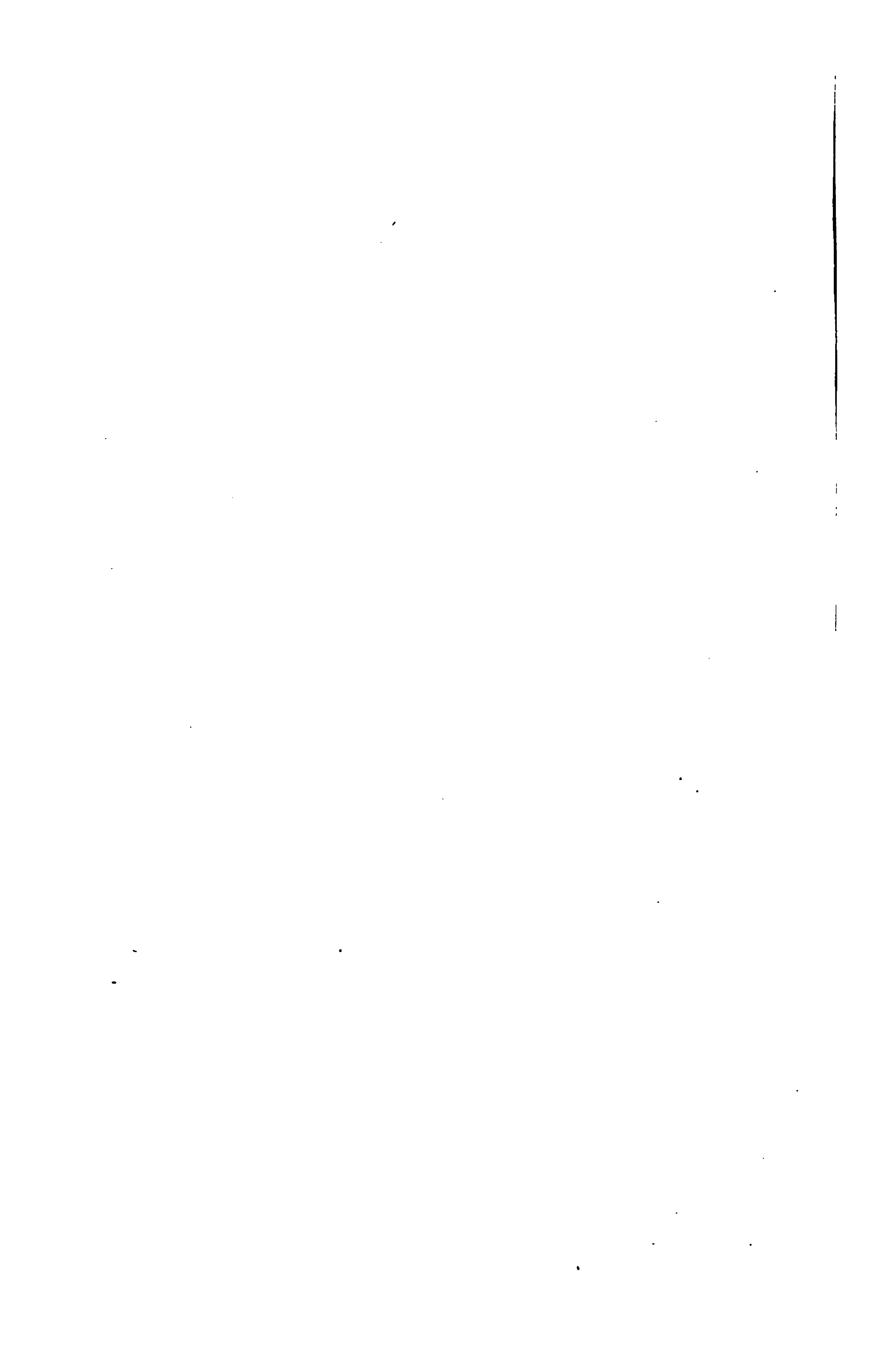












DIE UNTERSUCHUNG

DER

PFLANZEN- UND DER THIERGEWEBE

IN

POLARISIRTEM LICHTE.

DIE UNTERSUCHUNG

DER

PFLANZEN- UND DER THIERGEWEBE

IN

POLARISIRTEM LICHTE.

VON

G. VALENTIN

IN BERN.

MIT 84 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG.

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1861.

VORREDE.

Meine Arbeit soll vor Allem einen Leitfaden für die Untersuchung der organischen Gewebe in polarisirtem Lichte bilden. Das Mikroskop und andere jener Forschung dienende Hilfsmittel wurden daher vorzugsweise berücksichtigt. Es liegt in der Natur der Sache, dass die drei ersten Abschnitte, welche die Polarisation und die Doppelbrechung, die Polarisationsinstrumente und die Nebenapparate behandeln, meistentheils Bekanntes enthalten. Ich hoffe jedoch, dass auch hier diejenigen, welche sich mit dem Studium der Pflanzen oder der Thiere beschäftigen, manches Belehrende, und die Optiker von Fach einiges Neue aus der Litterargeschichte und der Technik finden werden. Die zwei letzten Abschnitte, welche die allgemeinen Eigenthümlichkeiten der organischen Gewebe betrachten und eine Reihe von Einzelnheiten über pflanzliche und thierische Theile geben, fussen ausschliesslich auf eigenen Untersuchungen. Es ist keine Kunst, Entdeckungen auf einem bis jetzt so wenig durchforschten und doch an Früchten so reichen Felde zu machen. Jeder Nachfolger, der Mühe und Scharfsinn auf die Feststellung eines einzelnen unentschieden gelassenen Punktes mit

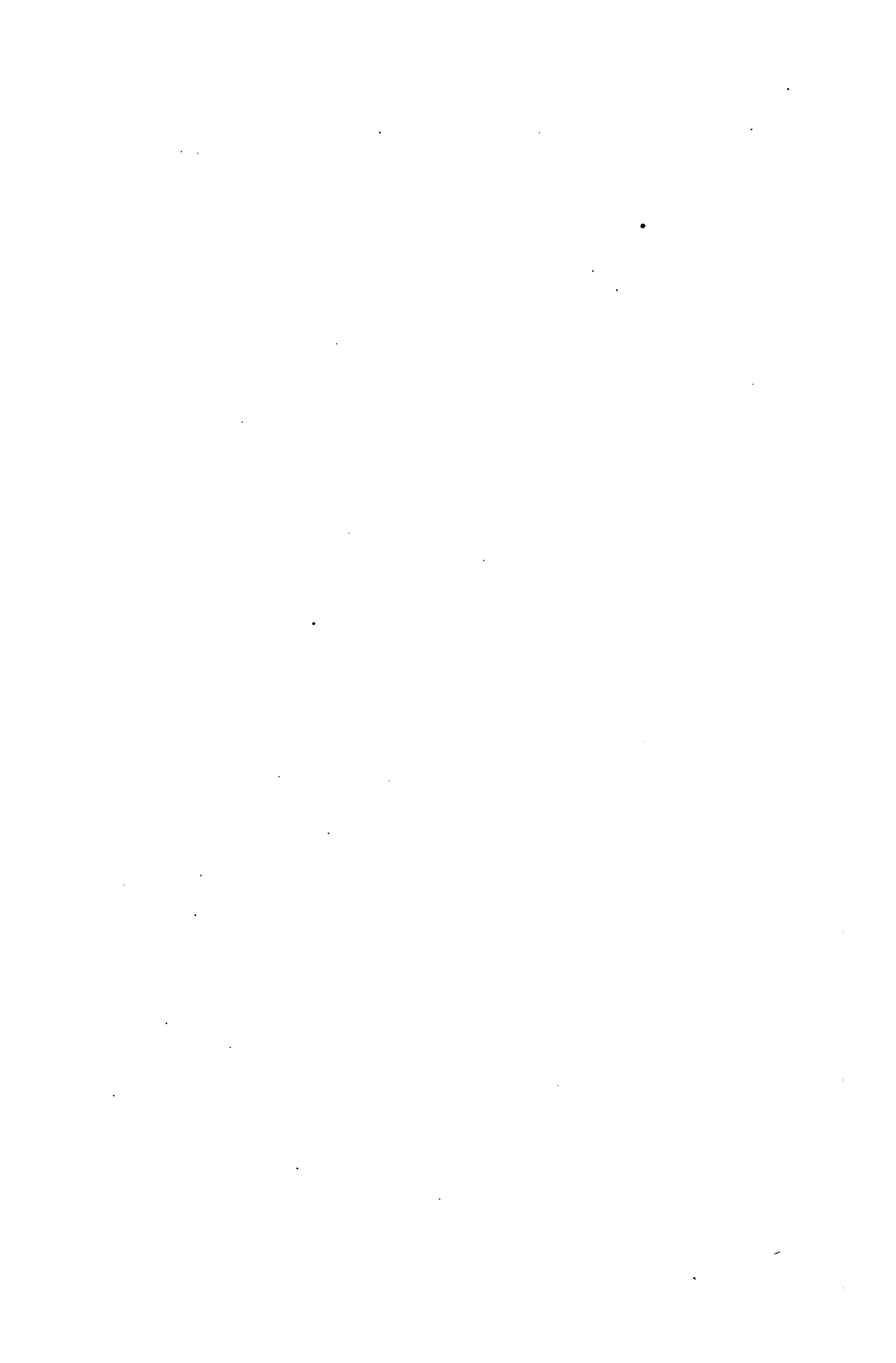
Glück verwendet, erwirbt sich ein grösseres Verdienst, als der erste Reisende, der seine Wissbegierde in einem unbekannten Lande befriedigte.

Es gereicht mir zum Vergnügen, den Herren L. Fischer, Fischer-Ooster, Flückiger, Gerber, Scherer in Würzburg, M. und H. Schiff, Shuttleworth und Wild für die Mittheilung einzelner, zum Theil seltener Stücke und meinem früheren Assistenten, Herrn Duplesssis, für die Anfertigung zahlreicher Polarisationspräparate öffentlich danken zu können.

Bern, den 15. März 1861.

Valentin.

INHALT.



§. 1. Die selbstständigen Werke und Abhandlungen, die sich mit der Erläuterung des Mikroskopes beschäftigen, erwähnen die Polarisationsapparate gar nicht oder besprechen höchstens einige hierher gehörende Vorrichtungen, wie die NICOLschen Prismen, die gewöhnlichen Condensatoren, die einzuschaltenden Gyps- und Glimmerblättchen. Manche dieser Arbeiten enthalten sogar die Behauptung, dass man unter dem Polarisationsmikroskope nicht mehr, als bei dem Gebrauche gewöhnlichen Lichtes wahrnimmt. Dieser Ausspruch ist schon insofern unrichtig, als bisweilen die Anwendung polarisirter Strahlen Gebilde, die in gewöhnlichem Lichte leicht übersehen werden, deutlicher hervortreten lässt. Sie bietet allerdings ungünstigere Bedingungen für die Wahrnehmung der Einzelnheiten in manchen Fällen dar. Ihr Hauptwerth aber besteht darin, dass sie uns eine Reihe feinerer Verhältnisse des Baues darlegt, die wir mit anderen Forschungsweisen gar nicht oder unvollkommener wahrnehmen würden. Die hierdurch mögliche Erweiterung unseres Wissens umfasst vorzugsweise dreierlei Richtungen:

a. Ist es an und für sich wichtig, die einfache oder die doppelte Brechung eines Gewebes zu erkennen und in dem letzteren Falle zu bestimmen, ob es ein- oder zweiachsig ist.

b. Das feine Prüfungsmittel, welches die polarisirten Strahlen bilden, klärt oft über die Molecularbeschaffenheit der Körper auf, wie dieses durch kein anderes bis jetzt bekanntes Untersuchungsverfahren möglich ist. Manche im Laufe dieser Darstellung vorkommende Thatsache wird diesen Satz für die lebenden und die

todten Gewebe der organischen Welt bestätigen und natürliche oder künstliche Veränderungen derselben vorführen, die sonst der Erkenntniss völlig entgangen wären. Endlich

c. lassen sich einzelne Streitfragen der Geweblehre durch die Benutzung des polarisirten Lichtes der Entscheidung näher bringen, wo nicht vollständig erledigen.

§. 2. Ein Hauptgrund der stiefmütterlichen Behandlung, welche bis jetzt den Gewebeuntersuchungen in polarisirtem Lichte zu Theil geworden, liegt in den oft unüberwindlichen Schwierigkeiten, die sich hier fast auf jedem Schritte entgegenstellen. Die rein physikalische Seite des Gegenstandes fordert ein mehr oder minder tiefes Eingehen in die Wellenlehre des Lichtes und zwar zum Theil in Abschnitte derselben, die sich nur in einzelnen Ausnahmsfällen am Mikroskope verwerthen lassen. Man ist nicht selten genöthigt, Achsen und Flächen, welche die optischen Eigenschaften eines doppelt brechenden Körpers wesentlich bestimmen, in verschiedenartigen Constructionen aufmerksam festzuhalten. Kostbare Vorrichtungen, die nicht Jedem zu Gebote stehen, müssen in einzelnen Fällen zu Rathe gezogen werden. Die ein- oder die zweiachsige Beschaffenheit, die sich aus der Krystallform unmittelbar ergibt, lässt sich an den organischen Geweben nur auf Umwegen ermitteln. Wir werden auf Beispiele stossen, in denen der verwickelte Bau eine Gleichgültigkeit der Richtungen zur Folge hat, deren Beispiele der unorganischen Natur fast gänzlich mangeln. Belehrende Präparate lassen sich nur mit grosser Schwierigkeit hin und wieder darstellen.

§. 3. Der Hauptzweck dieser Arbeit ist, die reiche Fundgrube, welche die Polarisationsuntersuchungen der organischen Gewebe darbieten, zugänglicher zu machen. Ich suchte die wichtigsten der hierher gehörenden Thatsachen der höheren Optik so einfach als möglich darzustellen. Ich würde es aber als den besten Lohn meiner Bemühungen ansehen, wenn strebsame Leser zu dem Studium der mathematischen Darstellungen angeregt würden. Die Vortheile der mathematischen Zeichensprache treten nirgends mächtiger als

auf dem uns hier beschäftigenden Gebiete hervor. Die Einführung eines bestimmten Werthes in eine allgemeine Formel erläutert meistentheils spielend die Erfolge der verschiedensten Fälle, die sich sonst gar nicht oder nur auf mühevollen Umwegen bestimmen lassen würden. Manche sogenannte populäre Darstellung der einfachsten Polarisationserscheinungen ist schwerer zu verstehen, als die Folgerungen aus einer Grundgleichung, deren Aufstellung einige Anstrengung in abstractem Denken und meist nur die Trigonometrie oder höchstens noch einige Grundlehren der höheren Analyse voraussetzt.

§. 4. Der erste Abschnitt gibt die zu dem Verständniss der Polarisation und der Doppelbrechung nöthigen Grundbegriffe. Der zweite beschäftigt sich mit den verschiedenen Polarisationsinstrumenten, die zu den Gewebestudien gebraucht werden. Die Folge wird lehren, dass hier die blosse Anwendung eines mit polarisirenden Ansatzstücken versehenen Mikroskopes nicht ausreicht und noch andere Vorrichtungen hin und wieder benutzt werden müssen. Der dritte Abschnitt behandelt die verschiedenen Orientirungen und die Nebenvorrichtungen, welche die weitere Verfolgung der doppelt brechenden Eigenschaften nöthig macht. Ich bemühte mich hierbei, die verschiedensten Fälle zu berücksichtigen und urtheile nach eigenen Erfahrungen, wo nicht das Gegentheil bemerkt worden. Der vierte Abschnitt sucht eine Reihe von Eigenthümlichkeiten der organischen Polarisationspräparate hervorzuheben und in einzelnen Beispielen zu erläutern. Es handelt sich dabei vorzugsweise um die Bestimmung, ob ein Gewebepräparat nur durch seine gegebene Molecularanordnung oder überdiess noch durch innere Spannungen doppelt bricht. Die Beispiele aus der Pflanzen- und der Thierwelt endlich, welche der letzte Abschnitt enthält, sollen nur andeuten, wie hier Neues auf jedem Schritte zu finden ist. Es liegt in der Natur meiner Beschäftigungen, dass ich die Pflanzengewebe oberflächlich berührte. Ich hätte sie gänzlich hinweggelassen, wenn mich nicht das Streben nach einiger Vollständigkeit zur Darstellung anregte. Ich habe ebenso die Kiesel- und die Kalkgebilde der wirbellosen Geschöpfe nur flüchtig berührt. Ein näheres

Eingehen auf die einzelnen Structurverhältnisse dieser Theile würde ausschliessliche, Jahre lange Studien voraussetzen. Die Zeit, in der diese gemacht werden, kommt unzweifelhaft. Die vergleichende Anatomie wird dann mit einem Gebiete der Erkenntniss von Structurverhältnissen bereichert werden, von der sie heute noch keine Ahnung hat. Was über die Gewebe der höheren Thiere angegeben worden, bedarf um so mehr der Nachsicht, als das Streben nach Kürze jede ausführliche Erläuterung hinderte. Die Arbeiten der Vorgänger suchte ich so vollständig, als es mir möglich war, citatweise mitzutheilen.

Erster Abschnitt.

Polarisation und Doppelbrechung.

§. 5. Die ersten eingehenden Untersuchungen über die von Erasmus Bartholin beschriebene Doppelbrechung des isländischen Kalkspaths führten auch zur ersten Erkenntniss einer dem Gebiete der Polarisation angehörenden Erscheinung. Hat man ein Doppelbild durch einen Kalkspath erzeugt, so sollte ein hinzugefügtes zweites Kalkspathrhomboëder vier Bilder liefern. Dieses Ergebniss, das allerdings erhalten wird, fehlt in zwei wechselseitigen rechtwinkeligen Stellungsbeziehungen der beiden Kalkspathe. Der Entdecker dieser Thatsache, Huyghens, empfahl sie der weiteren Forschung nachfolgender Beobachter, damit die Erklärung gefunden werde.

§. 6. Die Lehre von der Polarisation des Lichtes theilte hierauf länger als ein Jahrhundert die Schicksale der mit ihr eng zusammenhängenden Wellentheorie. Hooke[1], der unglückliche, glücklich rathende, aber an Schärfe des Denkens weit zurückstehende Nebenbuhler Newtons, hatte die Farben dünner Blättchen

1. Siehe z. B. die Originalstelle bei H. W. Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. 8. S. 51. 52.

aus Interferenzen erklärt. Der tiefe mathematische Sinn von HUYGHENS bemächtigte sich bald dieser Auffassungsweise, um die noch heute geltenden geometrischen Darstellungen der Reflexion, der einfachen und der doppelten Brechung zu erfinden und das sogenannte HUYGHENSsche Princip aufzustellen, nach welchem die Gesammtwirkung der Elementarwellen durch die berührende Hauptwelle ausgedrückt wird[1].

§. 7. Der Zauber von NEWTONS Genie fesselte auch da, wo er eine ungenügende Grundanschauung gegeben hatte. Die Emanations- oder Corpusculartheorie drängte die Wellenlehre und die Polarisation in den Hintergrund. LAPLACE bediente sich noch jener in unserem Jahrhundert, um die Doppelbrechung nach dem Principe der kleinsten Wirkung zu erläutern. FRESNEL, der die Wellenlehre nach YOUNG zur Geltung brachte, stiess zuerst auf den Widerstand der grössten Mathematiker seines Vaterlandes. Das Triumvirat, von dem die meisten Thatsachen auf dem Gebiete der Polarisation des Lichtes entdeckt wurden, MALUS, BIOT und BREWSTER blieben strenge Anhänger der Emanationstheorie. Dieser Umstand erklärt auch, weshalb mehrere ihr angehörende Ausdrücke sie selbst auf diesem Gebiete der Wissenschaft überlebt haben.

§. 8. Die Doppelbrechung des Kalkspathes und vorzugsweise die §. 5 erwähnte HUYGHENSsche Entdeckung führten schon NEWTON[2] zu der Folgerung, dass hier jeder Lichtstrahl verschiedene Eigenschaften nach den verschiedenen Seitenpaaren besitzt. Dieselben Erscheinungen aber, welche eine der mächtigsten Stützen der Wellenlehre bilden, gaben ihm die Veranlassung, sich gegen diese auszusprechen[3]. Nachdem MALUS 1808 entdeckt hatte, dass ein von einer Glasscheibe zurückgeworfener Lichtstrahl durch ein Kalkspathprisma je nach den verschiedenen Stellungen desselben

---

1. Das nähere Geschichtliche siehe z. B. bei A. KURZ, Geschichte der Entwickelung der Undulationstheorie des Lichtes. München 1858. 8. S. 12—39.

2. J. NEWTON, *Opticks: or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours. Second Edition.* London 1718. 8. p. 333.

3. NEWTON, Ebendaselbst p. 336.

durchgelassen oder verlöscht wird, suchte man die Erklärung den Vorstellungen der Emanationstheorie anzupassen. Man nahm an, dass die Lichtmolecüle bei der Zurückwerfung mit ihren entsprechenden Punkten, wie die Pole einer Anzahl Magnetnadeln unter dem Einflusse eines Magneten, übereinstimmend gerichtet werden. Der Name Polarisation rührt von dieser Vorstellung her. Als später Biot[1] die glatten Farben (§. 195) doppelt brechender Massen genauer untersuchte, glaubte er zweierlei Arten von Polarisation annehmen zu müssen, eine feste oder fixe und eine bewegliche. Die Lichtmolecüle sollten ihre einmal angenommene Stellung bei der Ersteren behaupten, bei der Letzteren dagegen um ihre Gleichgewichtslage pendelartig schwanken. Geht ein Strahl durch eine der optischen Achse parallele Platte, so sollte er noch im Anfange seine feste Polarisation eine Strecke weit darbieten, später dagegen eine bewegliche annehmen.

§. 9. Die Wellenlehre des Lichtes, die für die Erklärung der meisten Erscheinungen vorläufig genügt, setzt die Anwesenheit eines sehr dünnen elastischen, aus gesonderten Aethermolecülen bestehenden Mittels, des Aethers oder Lichtäthers voraus. Dieser ist in dem leeren Weltraume, dessen Inhaltskörper wir sehen können, verbreitet und durchdringt die Poren der wägbaren Stoffe. Die Ruhe der in ihrer Gleichgewichtslage befindlichen Molecüle bedingt Finsterniss und die durch die elastischen Kräfte erzeugte Bewegung der aus ihrem Gleichgewichte gebrachten Theilchen Licht. Man denkt sich dabei, dass die Grösse der Verrückung immer nur sehr klein in Vergleich mit der schon ohnehin kleinen gegenseitigen Entfernung der Molecüle sei und daher von einem schmalen Raume zum anderen fortschreitet, indem ein Nachbarmolecül durch die Störung des Gleichgewichtes verrückt wird und das ursprünglich erregende bald zur Ruhe kommt.

Der Punkt, von dem die Unruhe ausgeht, heisst der Erschütterungsmittelpunkt. Die Bewegung theilt sich von ihm

---

1. Biot, *Traité de Physique expérimentale et mathématique. Tome IV.* Paris 1816. 8. p. 391.

aus allseitig im Raume mit, so dass den drei Durchmessern desselben angehörende fortschreitende Wellen hervorgerufen werden. Die Krümmungsflächen der Letzteren nähern sich im Allgemeinen um so mehr ebenen Flächen, je mehr man sich von dem Erschütterungsmittelpunkte entfernt, je grösser also die Krümmungshalbmesser werden, und je näher daher die Krümmungsoberfläche mit der Berührungsfläche zusammenfällt. Kann man endlich von dem Unterschiede der beiden Letzteren absehen, so spricht man von ebenen Wellen. Man pflegt diese für die einfallenden Wellen anzunehmen, weil hierdurch die mathematische und die graphische Darstellung wesentlich vereinfacht werden.

§. 10. Die Schwingungen der Aethermolecüle, welche unsere Netzhaut berühren, regen die Gesichtsempfindung durch ihre Stösse eben so an, wie die der wägbaren Stoffe, die den Hörnerven treffen, den Gehörseindruck. Eine einmalige Bewegung der Aethertheilchen genügt aber nicht. Wir sehen erst, wenn eine Reihe rasch auf einander folgender Erschütterungen auftritt. Wie die Tonhöhe von der Zahl der auf die Zeiteinheit kommenden Stösse, die den Hörnerven erregen, abhängt, so wiederholt sich das Gleiche für die Auffassung der Farben. Das Roth, welches die verhältnissmässig geringste Menge darbietet, entspricht den tiefsten und das Violett und Ultraviolett, denen die grösste zukommt, den höchsten Tönen. Da sich aber die Erschütterung im leeren Raume mit gleicher Geschwindigkeit für alle Farben fortzupflanzen scheint, so steht unter dieser Voraussetzung die Wellenlänge in umgekehrtem Verhältnisse zur Schwingungszahl. Das Roth hat die längsten und das Ultraviolett die kürzesten Wellen.

§. 11. Die Schnelligkeit, mit der sich die Unruhe verbreitet, oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwelle wechselt mit der Verschiedenheit der Körper, durch welche das Licht geht. Sie ist in optisch dichteren Körpern geringer, als in dünneren, während die Ausflusstheorie das Entgegengesetzte für die Bewegung der Lichtmolecüle annahm. Die Wellenlänge muss in dem dichteren Mittel kleiner ausfallen. Da aber dieses das Licht stärker bricht, so schliesst man, dass das Ablenkungsverhält-

niss oder der Brechungscoëfficient eines Mittels in umgekehrterBeziehung zur Fortpflanzungsgeschwindigkeit oder zur Wellenlänge steht. Er bildet daher den Quotienten der Wellenlängen der beiden in Betracht kommenden Mittel.

§. 12. Die innere Ruhe eines elastischen Körpers ist dadurch bedingt, dass sich die anziehenden und die abstossenden Wirkungen in gegenseitigem Gleichgewichte erhalten. Wird ein Molecül verrückt, so ändert sich dieses Verhältniss, indem es sich einzelnen benachbarten Molecülen nähert und von anderen entfernt. Molecularkräfte werden auf diese Weise frei gemacht. Die Unruhe pflanzt sich fort und ein augenblicklicher oder instantaner oder ein länger anhaltender Zwischenzustand von Schwingungen führt allmählig zur früheren Gleichgewichtslage. Zwei Punkte kommen hierbei vorzugsweise in Betracht, die Grösse der Verrückung aus der Gleichgewichtslage, die Schwingungsweite oder die Schwingungsamplitude und die Geschwindigkeit, mit der sich das Molecül bewegt. Man pflegt diese beiden Momente in der Form von Kreisfunctionen, ähnlich wie die Pendelbewegungen, darzustellen. Denken wir uns den Anfang der Zeit oder die Zeit Null in dem Augenblicke, in welchem das Molecül das Maximum seiner Ausweichung erreicht, folglich die Geschwindigkeit Null besitzt, so wird sich in beiderlei Hinsicht die Sache umkehren, wenn das Molecül seinen Gleichgewichtsort durchsetzt. Hieraus folgt, dass der Sinus, der bei 0^0 und 180^0 Null ist und bei 90^0 und 270^0 sein Maximum hat, die Geschwindigkeit und der Cosinus, für den das Umgekehrte gilt, die Schwingungsweite bildlich darstellen kann. Der Schwingungszustand oder die Schwingungsphase ist aber die Grösse der Geschwindigkeit oder der Ausweichung, die einem gegebenen Augenblicke entspricht. Da die Stärke des Lichteindruckes von der der Stösse, oder von der lebendigen Kraft abhängt, diese aber dem Producte der Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit proportional ist, so kann man zunächst die zweite Potenz der letzteren oder auch die der Schwingungsweite als ein Maass der Lichtstärke ansehen, wenn man sich die überall gleiche Masse der einzelnen Aethermolecüle als Einheit denkt. Man sagt

daher auch, dass das Quadrat der Amplitude der Lichtstärke oder der Intensität des Lichtes entspricht.

§. 13. Erklärt man die Wellenfläche als diejenige Oberfläche, welche von der sich fortpflanzenden Unruhe in einem gegebenen Augenblicke erreicht wird, deren Molecüle also zu dieser Zeit zu schwingen anfangen, so wird ein Strahl durch den Radius Vector gebildet, den man sich zwischen dem Erschütterungsmittelpunkte und einem in's Auge gefassten Theilchen gezogen denkt. Gleicht die Wellenfläche der Oberfläche einer Kugel, so wird der Strahl zum Halbmesser, und in diesem Falle drückt er zugleich die Schnelligkeit aus, mit der sich die Unruhe verbreitet hat. Sonst dagegen fallen, wie man sagt, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Strahles und die der Welle (die auf der Tangentenebene des betrachteten Punktes senkrecht stehende Linie) nicht zusammen. (§. 51.)

Fig. 1.



§. 14. Die in der Mechanik übliche Kräftezerlegung gestattet es, dass man sich die Verrückung eines Aethermolecüles nach drei Richtungen getheilt denkt, von denen die eine mit der des Strahles zz' Fig. 1 zusammenfällt oder eine longitudinale Schwingung bildet und die beiden anderen in der Wellenebene xy liegen oder transversale Schwingungen darstellen. Gründe, die wir sogleich kennen lernen werden, bewogen FRESNEL[1] zu der Annahme, dass der Lichtäther nur transversale Schwingungen, ab Fig. 2 mache, während die tönenden Schwingungen der wägbaren Stoffe longitudinal oder in der Richtung des Strahles cd dahingehen. Er glaubt sogar Gründe, die jedoch nicht bindend sind, gefunden zu haben, weshalb die Längenschwingungen dem Ge-

Fig. 2.

1. FRESNEL in den *Mém. de l'Institut. Tome VII.* Paris 1827. 4. p. 54 und POGG. Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 381.

sichtssinne entgehen. Die mathematische Analyse von CAUCHY[1] hat sie später berücksichtigt und die Versuche, welche in neuerer Zeit zur Bestimmung der Lage der Polarisationsebene angestellt worden (§. 22), deuten an, dass sie sich sogar für unsere Wahrnehmung geltend machen können. Die gewöhnlichen optischen Betrachtungen selbst der höheren mathematischen Physik berücksichtigen sie nicht. Man geht von dem Satze aus, dass die Schwingungen *ab* der Aethermolecüle auf der Richtung des Strahles *cd* senkrecht stehen und nennt die Schwingungsebene diejenige Ebene, in welcher sich die Aethermolecüle bewegen. Die Vernachlässigung der Longitudinalschwingungen ist wahrscheinlich in manchen Fällen die Hauptursache, weshalb Theorie und Erfahrung nicht übereinstimmen.

§. 15. Ein polarisirter Lichtstrahl zeichnet sich durch die Beständigkeit der Bewegungsrichtung der Aethermolecüle aus, während diese von einem Augenblicke zum anderen in dem nicht polarisirten oder gewöhnlichen Lichte wechselt. Dreht man daher einen Körper, der polarisirtes Licht erzeugt, rasch um die durch den Strahl bedingte Achse, so erhält das Auge den Eindruck gewöhnlichen Lichtes[2].

§. 16. Man kann sich die allgemeinste Bewegungsbahn eines Aethertheilchens in der Form einer Ellipse *abcd* Fig. 3 denken und hat dem gemäss elliptisch polarisirtes Licht, wenn die Unveränderlichkeit der Richtung gleichzeitig vorhanden ist. Werden die beiden Achsen *ab* und *cd* der Ellipse gleich, so erhält man kreisförmig (*ef*) und stellt man sich eine Achse unendlich klein vor, linear polarisirtes Licht.

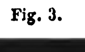
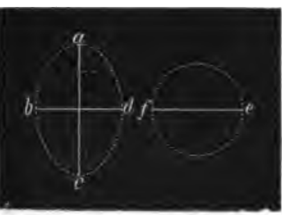


Fig. 3.



Man bezeichnet die beiden entgegengesetzten Richtungen, in denen sich das Aethermolecül in seiner krummlinigten Bahn bewegen

1. *Mém. de l'Inst.* Tome XVIII. Paris 1842. p. 77—79.
2. DOVE, Farbenlehre S. 213—18.

kann, als rechts und als links elliptisch oder circular polarisirt. Nimmt man zwei auf einander folgende Ellipsen an, von denen die grosse Achse in der einen und die kleine in der anderen bis zum Verschwinden abgenommen hat, so erhält man zwei linear polarisirte Strahlen, deren Schwingungsrichtungen einander rechtwinkelig durchkreuzen. Die einer solchen Beziehung entsprechenden Strahlen heissen rechtwinkelig, senkrecht oder entgegengesetzt polarisirt. Man kann sich zwei solche Strahlen zu einem elliptisch polarisirten zusammengesetzt denken. Sie interferiren aber nicht, sie erzeugen keine Dunkelheit, wenn ihre Schwingungsweite übereinstimmt und ihr Gang- oder Phasenunterschied einer halben Wellenlänge gleicht. Diese von ARAGO und FRESNEL gefundene Thatsache bewog den Letzteren, die Transversalschwingungen der Aethertheilchen vorauszusetzen

§. 17. MALUS, der Entdecker der Polarisation des Lichtes durch Zurückwerfung und einfache Brechung, nannte Polarisationsebene diejenige Ebene, in der sich der von einem (unkrystallinischen) Glasspiegel zurückgeworfene polarisirte Strahlentheil und das Einfallsloth befinden, weil die von der Emanationstheorie angenommenen Polachsen der Lichtmolecüle (§. 8) in ihr liegen sollten[1]. Sie fällt also hier mit der Einfalls- und der Reflexionsebene zusammen. Da die Wahl der Polarisationsebene nach der Emanations-, wie nach der Undulationstheorie der Willkühr überlassen bleibt, so hat jene seither beibehaltene MALUSsche Auffassung keine nachtheiligen Folgen hervorgerufen. Die Frage dagegen, in welcher Beziehung die Schwingungsebene des linear polarisirten Lichtes zur Polarisationsebene steht, ist noch jetzt nicht entschieden worden. Wir müssen aber diesen Gegenstand näher betrachten, weil uns die Erläuterung desselben die Art, wie die mathematische Physik die Doppelbrechung auffasst, darlegen wird.

§. 18. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Unruhe in einem beliebigen elastischen Mittel gleicht der Quadratwurzel aus dem Quotienten des Elasticitätsmoduls und der Dichtigkeit. Sie wird

---

1. BIOT a. a. O. p. 252 und 284.

also mit jenem zu- und mit diesem abnehmen. Wir haben aber §. 11 gesehen, dass der grössere Brechungscoëfficient der optisch dichteren Körper eine kleinere Fortpflanzungsgeschwindigkeit voraussetzt. Dieser Forderung kann Genüge geleistet werden, indem die Dichtigkeit des Aethers zunimmt. Fresnel[1] stellte sich daher vor, dass dieser in den wägbaren Stoffen dichter, als im luftleeren Raume sei. Was die Elasticität betrifft, so kann sie nach den drei Richtungen des Raumes im allgemeinsten Falle wechseln. Dieses tritt in den doppelt brechenden oder anisotropen zweiachsigen Mitteln ein. Man hat nur zwei mögliche Werthe des Elasticitätsmoduls in den einachsigen und nur einen in den einfach brechenden, isophanen oder isotropen Mitteln. Die Elasticität bleibt also nach allen Richtungen gleich in dem letzteren Falle.

§. 19. Fresnel[2] zeigte in seiner über die Doppelbrechung gelieferten Arbeit, dass es für jeden Punkt eines elastischen Körpers nach jeder der drei Körperdurchmesser wenigstens eine gerade Richtung gibt, in welcher die ursprüngliche Verschiebung des Molecüles mit der späteren Hauptresultante der Wirkungen aller umgebenden Molecüle, der Abstossungskraft und der aus ihr zu erklärenden elastischen Thätigkeit zusammenfällt, wenn man die Longitudinalschwingungen unbeachtet lässt[3]. Er nannte eine solche Richtung eine Elasticitätsachse. Man kann aber durch jeden Punkt eines Körpers drei auf einander senkrechte Elasticitätsachsen nach Art eines rechtwinkeligen Coordinatensystemes legen, und auf ihnen die Grössen, welche die elastischen Wirkungen ausdrücken, in verhältnissmässigen Längen auftragen. Die gegenseitig entsprechende Zusammenlagerung der Theilchen regelmässig gebauter Körper und die ihr ähnliche Vertheilung der zwischen ihnen befindlichen Aethermolecüle bedingen es, dass hier die correspondirenden Elasticitätsachsen unter einander parallel in der ganzen Masse dahingehen. Fresnel[4] kam noch zu der Annahme,

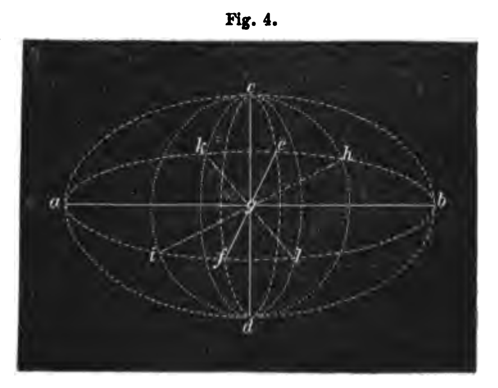
1. Fresnel, Pogg. Ann. Bd. XXII. 1831. S. 94.
2. Fresnel, Pogg. Ann. Bd. XXIII. 1832. S. 418.
3. Siehe auch Billet, *Traité d'Optique physique. Tome II.* Paris 1859. 8. p. 501—509. p. 537. 38.
4. Fresnel a. a. O. S. 379.

dass die schwingenden Theilchen des in einem doppelt brechenden Mittel enthaltenen Aethers nicht in allen Richtungen in derselben gegenseitigen Abhängigkeit stehen. Ihre Verschiebungen entwickeln daher Elasticitäten, deren Grösse mit den Richtungen wechselt. Man kann unter diesen Verhältnissen sagen, dass die zweiachsigen doppelt brechenden Körper drei und die einachsigen zwei unter sich ungleiche Haupt-Elasticitätsachsen besitzen. Die Gleichheit der Elasticität nach allen Richtungen lässt nur eine Elasticitätsachse in einfach brechenden Körpern annehmen.

Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Unruhe von dem Elasticitätsmodul abhängt (§. 18), so verbreitet sich die Bewegung in einem doppelt brechenden Medium von dem Erschütterungsmittelpunkte aus mit verschiedener Schnelligkeit nach den verschiedenen Richtungen des Raumes. Diejenige Oberfläche, auf der sie in einem gegebenen Zeitpunkte angelangt ist, die also alle eben sich verrückenden Aethermolecüle enthält, heisst die Wellenfläche. Sie wird in doppelt brechenden Körpern anders, als in einfach brechenden beschaffen sein. FRESNEL [1], der diese Ausdrucksweise einführte, nannte die optischen Achsen diejenigen Richtungen, in denen weder eine Doppelbrechung, noch eine Drehung der Polarisationsebene senkrecht einfallender, in irgend einem Azimuthe (irgend einer seitlichen Richtung) polarisirter Strahlen Statt findet. Er liess sie mit den wirklichen Krystallachsen zusammenfallen.

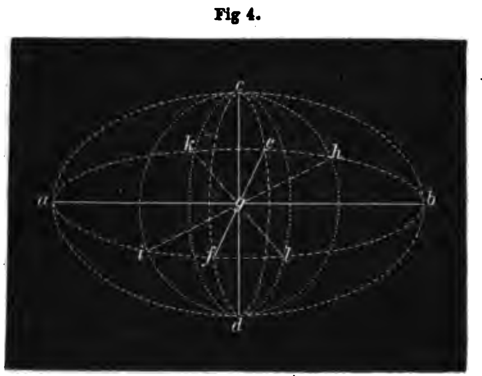
§. 20. Eine graphische Darstellung kann uns noch eine andere Definition der optischen Achse, der wir später begegnen werden, klar machen. Denken wir uns, die ausgezogenen Linien Fig. 4 bezeichnen die drei Elasticitätsachsen eines zweiachsigen doppelt brechenden Körpers und

Fig. 4.



1. FRESNEL a. a. O. S. 503.

Fig 4.



zwar ab die grösste, cd die mittlere und ef die kleinste, so werden die Aethermolecüle eines Strahles, der in der Richtung cg einfällt, in einer der Ellipsenfläche $aebf$ parallelen Ebene schwingen. Hier sind es aber die beiden halben Hauptelasticitätsachsen gb und ge, in denen die Verschiebung des Molecüls mit der Resultante der Abstossungskraft zusammenfällt (§. 19). Die Unruhe schreitet nach gb rascher und nach ge langsamer weiter. Es entstehen, wie Theorie und Erfahrung lehren, zwei senkrecht auf einander polarisirte Strahlen, von denen der gb entsprechende eine grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit und daher einen kleineren Brechungscoëfficienten, als der ge correspondirende hat. Geht der Strahl in irgend einer anderen Richtung dahin, so wird die auf ihm senkrechte Schnittfläche des Ellipsoides bestimmen, welchen Elasticitäten seine Aethermolecüle begegnen. Diese ovalen Schnittflächen sind im Allgemeinen annäherungsweise Ellipsen und nur in zwei Fällen Kreise. Gesetzt der Strahl gl habe die auf ihm senkrechte Schnittfläche $cidh$, so besitzt diese die zwei auf einander senkrechten Richtungen gh und gc, welche die Halbachsen der Ellipse bilden. gh stellt einen Fahrstrich oder Radius vector der Ellipse $aebf$ dar, welche die grösste Elasticitätsachse ab und die kleinste ge zu Achsen hat. Der Fahrstrich durchläuft aber bei verschiedenen Neigungen alle möglichen zwischen ge und gb liegenden Werthe. Einer von ihnen muss daher der ebenfalls zwischen ge und gb befindlichen Grösse der mittleren Halbachse gc entsprechen. Ist z. B. gh gleich gc, so bildet der Schnitt $chdi$ eine Ellipse mit zwei gleichen Halbachsen, mithin einen Kreis. Es ist klar, dass es auf der anderen Seite eine zweite Grösse $kg = gc$ und daher einen zweiten Kreisschnitt $kcld$ geben muss und mehr als diese zwei Kreisschnitte nicht auftreten können. Der Strahl gl, der senkrecht zu

dem Kreisschnitte $ehdi$ oder der Strahl hg, der senkrecht zu dem Kreisschnitte $kcld$ dahingeht, begegnet mit seinen Aethermolecülen der gleichen Elasticität nach allen Richtungen, also derselben Fortpflanzungsgeschwindigkeit, demselben Brechungscoëfficienten. Er liefert eine einfache Brechung, er ist eine optische Achse. Man sieht hieraus, wesshalb man auch die optische Achse die Normale des Kreisschnittes des Ellipsoides nennt, und aus welchem Grunde nur zwei optische Achsen im allgemeinsten Falle vorhanden sind. Wird der Winkel kgh Null, so hat man nur eine optische Achse und nur einen Kreisschnitt.

§. 21. Als Fresnel die Gleichung der Wellenfläche aufsuchte, kam er auf eine ellipsoidische Fläche vierten Grades, die manche Mathematiker das Constructionsellipsoid, andere das Elasticitätsellipsoid nennen, dessen nähere Auflösung aber unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenzusetzen schien. Er nahm daher als sogenannte Elasticitätsfläche eine besser zu behandelnde annähernde, jenem Ellipsoid ähnliche Fläche für die ferneren Bestimmungen an. Man pflegt aber in dieser Hinsicht mit zwei Ellipsoiden zu rechnen, einem reciproken oder umgekehrten, bei welchem die Achsen Brüchen entsprechen, deren Zähler die Einheit und deren Nenner die halben Elasticitätsachsen sind, und einem directen, in welchem die letzteren Grössen selbst die Achsen bilden[1]. Die strengeren Auflösungen wurden später von Ampère, Plücker und Senff gegeben.

§. 22. Eine der Folgerungen, die Fresnel aus allen diesen Betrachtungen zog, bestand darin, dass die Schwingungsebene der Aethermolecüle auf der Polarisationsebene senkrecht steht. Denken wir uns die Ebene des Papiers als die Wellenebene (§. 9), die in a auf dem Strahle senkrecht ist, so würde hiernach xx' den Durchschnitt derselben mit der Polarisationsebene und yy' den mit der Schwingungsebene oder umgekehrt darstellen.

Fig. 5.



1. Ich vermeide absichtlich die Namen erstes und zweites oder Fresnelsches, Magnussches und Plückersches Ellipsoid, weil jene Benennungen in

§. 23. Diejenigen Mathematiker, welche die Bewegungen des Lichtäthers aus den allgemeinen Gleichungen der elastischen Massen herleiteten, kamen zu einem anderen Ergebnisse. Man betrachtet hierbei den Aether als ein unbegrenztes Mittel, damit man nicht erst nöthig habe, auf die besonderen Verhältnisse der Oberfläche bei der Integration der hierher gehörenden Gleichungen Rücksicht zu nehmen. Da man sich ferner vorstellt, dass die Theilchen nur wenig aus ihrer Gleichgewichtslage verrückt werden und in diese später zurückkehren, so ist man darauf angewiesen, den Aether nicht als gasförmig anzusehen. Man stellt sich ihn daher als einen festen Körper vor. Die allgemeinen Differentialgleichungen für das Gleichgewicht einfach brechender elastischer Körper sind aber am vollständigsten von NAVIER[1] gegeben worden.

§. 24. NEUMANN[2] ging zuerst von diesem Standpunkte aus. Er nimmt nicht, wie FRESNEL an, dass die Dichtigkeit des Aethers wechselt, da diese Ansicht auf die verschiedenen Richtungen der doppelt brechenden Körper nicht passt[3]. Seine Darstellung, welche die Erscheinungen der Doppelbrechung vollständig erklärt, legt die erwähnten NAVIERschen Gleichungen zum Grunde und trägt in sie noch die für krystallinische Mittel geltende Bedingung ein, dass die Verrückungsgrösse von der Richtung der Verschiebung abhängt. Eine Folge seiner Rechnungen besteht aber darin, dass die Schwingungsebene die Polarisationsebene nicht rechtwinkelig kreuzt, sondern mit ihr zusammenfällt[4].

Die gleiche Ansicht, welche auch MAC-CULLAGH und BROCH theilen, wird von LAMÉ[5] nach der Discussion der allgemeinen Elasticitätsgleichungen vertheidigt. CAUCHY dagegen schwankte

---

entgegengesetztem Sinne und diese nur ausnahmsweise gebraucht werden. Siehe z. B. BILLET a. a. O. p. 525.

1. NAVIER, *Mém de l'Institut. Tom. VII. Année* 1824. Paris 1827. p. 378 ff.

2. NEUMANN, Pogg. Ann. Bd. XXV. 1832. p. 418 - 454.

3. Vgl. BILLET a. a. O. Tome II. p. 173. 74.

4. NEUMANN. Ebendas. S. 451. 52.

5. LAMÉ, *Leçons sur la théorie mathématique des corps solides*. Paris 1852. 8. p. 329.

in dieser Beziehung. Er liess früher die Schwingungsebene mit der Polarisationsebene zusammenfallen[1], theilte aber später die Ansicht von FRESNEL. Die Bemühungen von BABINET und HAIDINGER[2], die Frage durch die Deutung von optischen Beobachtungen, die von STOCKES und HOLTZMANN[3], sie durch Beugungsversuche, endlich die von ÅNGSTRÖM[4], sie durch Vergleichung mit den Wärmeerscheinungen zu entscheiden, führten zu keinen bindenden Ergebnissen. LAMÉ stellte schon als Möglichkeit hin, dass die mit FRESNELS Annahme übereinstimmenden CAUCHYschen Formeln vielleicht die richtigeren seien. Der neueste mathematische Schriftsteller, der diese Frage behandelte, FR. EISENLOHR[5], legt ebenfalls ein besonderes Gewicht auf die durch JAMIN bestätigten Gleichungen von CAUCHY für die Intensitäten des gespiegelten und des gebrochenen Lichtes (§. 28) und glaubt, dass sich der Mangel einer ferneren Ablenkung des prismatischen Bildes eines Sternes vermöge der Erdbewegung nur unter dem FRESNELschen Gesichtspunkte erklären lasse. Um Missverständnisse zu vermeiden, setze ich in dem Folgenden die in den gewöhnlichen physikalischen Lehrbüchern als sicher dargestellte rechtwinkelige Kreuzung der Polarisations- und der Schwingungsebene voraus.

Fig. 6.



§. 25. Schwingt ein linear polarisirter Strahl in der Richtung pq Fig. 6 mit der Schwingungsweite $mn = a$, so lässt sich diese nach dem Parallelogramm der Kräfte zerlegen. Sind xx' und yy' zwei rechtwinkelige Coordi-

1. RADICKE in DOVEs Repertorium der Physik. Bd. III. Berlin 1839. 8. S. 154—157. Vgl. dagegen BROCH, Ebendas. Bd. VII. 1846. S. 51—56.
2. HAIDINGER in Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. 1853. S. 185 und Bd. XCVI. 1856. S. 314.
3. STOCKES und HOLZMANN, Pogg. Ann. Bd. XCIX. 1856. S. 446—51. Bd. CI. 1857. S. 154—157.
4. ÅNGSTRÖM, Pogg. Ann. Bd. XC. 1853. S. 584. 85.
5. EISENLOHR in Pogg. Ann. Bd. CIV. 1858. S. 337—46.

naten und ist i der Winkel, den mn mit xx' bildet, so hat man $mr = a . \cos. i$ für die Zerlegung nach xx' und $nr = a$ sin. i für die in die Richtung yy'. Nehmen wir a als Einheit, so kann man sich statt des polarisirten Strahles, dessen Intensität die Einheit bildet, zwei rechtwinkelig polarisirte Strahlen denken, von denen der eine die Lichtstärke $\cos.^2 i$ und der andere die $\sin.^2 i$ hat (§. 12). Dieses sogenannte MALUS-sche Cosinusgesetz bildet die Grundlage der FRESNELschen Intensitätsformeln des polarisirten Lichtes[1], und wird daher uns auch für das Verständniss der Polarisationsbilder der Gewebe wesentlich nützen.

Fig. 6.



§. 26. Da sich die Zerlegung nach zwei rechtwinkeligen Coordinaten für die verschiedensten Werthe von i wiederholen lässt, so kann man beliebig viele polarisirte Strahlen auf dieselben beiden, zu einander senkrechten Schwingungsrichtungen zurückführen und die Lichtstärke nach jeder dieser letzteren aus der Summe der auf sie bezogenen einzelnen, positiven oder negativen Intensitätswerthe bestimmen. Man ist sogar im Stande, dasselbe Verfahren auf das gewöhnliche Licht auszudehnen. Dieses bildet polarisirtes Licht, dessen Polarisationsrichtung von einem Augenblicke zum andern wechselt (§. 15). Halten wir einen dieser Augenblicke fest, so können wir auch hier die Zerlegung für ihn vornehmen. Dieses Verfahren lässt sich auf alle Zeiten ausdehnen, wenn die Intensität der beiden Componenten für die Frage gleichgültig ist oder sonst bestimmt werden kann. Jeder gewöhnliche Strahl wird daher auch häufig als gleichwerthig mit zwei rechtwinkelig linear polarisirten Strahlen angesehen. Hat man eine zusammengehörende Mischung von polarisirten und nicht polarisirten Strahlen, so nennt man das hieraus hervorgehende Licht theilweise polarisirt.

---

1. FRESNEL in Pogg. Ann. Bd. XXXI. 1831. S. 100. 103.

§. 27. Man kann auch den umgekehrten Gang einschlagen und die Intensitätsresultante einer Reihe polarisirter Strahlen bestimmen. Denken wir uns der Einfachheit wegen, dass diese rechtwinkelig polarisirt seien, so ergibt sich die Lösung von selbst, wenn sich die Strahlen in den gleichen Schwingungszuständen (§. 12) befinden. Bieten dagegen die beiden linear und entgegengesetzt polarisirten, gleich lichtstarken Strahlen einen Gangunterschied dar, zeigt der zweite, wie man es bisweilen ausdrückt, eine Anomalie in Bezug auf den ersten, so schwingt im Allgemeinen der resultirende Strahl elliptisch. (*abcd* Fig. 3 S. 10.) Ein Gangunterschied von $^1/_4$ oder $^3/_4$ einer Wellenlänge gibt als Einzelfall kreisförmig polarisirtes Licht (*ef* Fig. 3) und ein solcher von Null oder einer halben Wellenlänge linear polarisirtes, das natürlich unter $+45^0$ im ersten und unter -45^0 im zweiten Falle schwingt. Wir werden dabei der gewöhnlichen Ausdrucksweise folgen, nach der ein Gangunterschied von $^1/_4$ Wellenlänge rechts, und ein solcher von $^3/_4$ Wellenlänge links circular polarisirtes Licht liefert. Manche Physiker[1] brauchen die umgekehrte Bezeichnungsweise.

§. 28. Malus, der die bei der Zurückwerfung der Strahlen auftretenden Polarisationserscheinungen entdeckte (§. 8), fand zugleich, dass der gleichzeitig gebrochene Strahl theilweise polarisirt ist und dessen Polarisationsebene die des zurückgeworfenen Strahles rechtwinkelig schneidet. Die Wellenlehre zeigt ferner, dass eine vollständige Polarisation des zurückgeworfenen Strahles unter den günstigsten Bedingungen möglich ist, der gebrochene dagegen immer nur eine theilweise darbietet. Wird der Strahl von nicht metallischen Oberflächen zurückgeworfen, so ist er der allgemeinen Annahme nach linear polarisirt. Die Reflexion von polirten metallischen Flächen oder die Metallreflexion dagegen liefert deutlich elliptisch polarisirtes Licht. Man pflegt dieses durch die Annahme zu erklären, dass hier nicht bloss ein Strahl an der Ober-

1. Siehe z. B. A. Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung. Abth. II. Zürich 1860. S. 351.

fläche der Grenzschicht, sondern noch ein zweiter aus einer geringen Tiefe zurückgeworfen wird, und sich daher beide linear und rechtwinkelig polarisirt und mit einem gewissen Gangunterschiede behaftet zu einem elliptisch polarisirten Strahle zusammensetzen. Etwas Aehnliches kommt übrigens schon bei der Glasreflexion nach JAMIN vor. Die FRESNELschen Intensitätsformeln, welche nur die Transversalschwingungen der Aethertheile berücksichtigen (§. 14), sind daher minder scharfe Annäherungen, als die CAUCHYschen, die zugleich die longitudinalen Bewegungen nicht vernachlässigen.

§. 29. Fällt natürliches Licht auf eine polirte (weder metallische, noch doppelt brechende) Fläche, so hängt die Menge des polarisirten zurückgeworfenen Lichtes nur von dem Einfallswinkel ab. Man nennt diesen den Polarisationswinkel, wenn er den für den Erfolg günstigsten Werth hat, bei dem alles zurückgeworfene Licht (oder nach JAMIN alles bis auf eine geringe Spur) polarisirt ist. BREWSTER entdeckte zuerst, dass er und sein Brechungswinkel einander zunächst zu einem Rechten ergänzen[1]. Drei Folgerungen ergeben sich aber aus diesem Satze:

1. Nennt man i den Einfalls- und den ihm gleichen Zurückwerfungswinkel, i' den Brechungswinkel und n das Brechungsverhältniss der Masse des Spiegels, so hat man $\frac{\sin. i}{\sin. i'} = n$ nach dem SNELLschen Brechungsgesetze. Für den Polarisationswinkel ist aber $i + i' = 90^0$, folglich $\cos. i = \sin. i'$, mithin $\operatorname{tg.} i = n$, d. h. die Tangente des Polarisationswinkels gleicht dem Brechungsverhältnisse.

2. Das verlängerte Einfallsloth umfasst natürlich einen Winkel von 180^0, wie jede andere gerade Linie. An ihm befindet sich oberhalb der trennenden Fläche der Reflexionswinkel i und unterhalb der Ablenkungswinkel i'. Betragen diese beiden zusammen einen Rechten, so bleibt ein rechter Winkel zwischen ihnen übrig, d. h. der zurückgeworfene und der gebrochene Strahl

1. Den theoretischen Grund siehe z. B. bei RADICKE, Handbuch der Optik. Bd. I. S. 169.

bilden mit einander einen rechten Winkel, wenn der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel entspricht.

3. Die Farbenzerstreuung entsteht dadurch, dass jede Farbe einen von anderen Farben verschiedenen Brechungscoëfficienten hat. Da aber dieser der Tangente des Polarisationswinkels gleicht, so muss der letztere mit der Verschiedenheit der Farbenstrahlen bei einer und derselben Masse wechseln.

Wird der Strahl von einem doppelt brechenden Mittel zurückgeworfen, so ändert sich die Grösse des Polarisationswinkels mit der Lagenbeziehung der Reflexionsebene zur optischen Achse oder zum Hauptschnitte (§. 42).

§. 30. Nimmt man 1,52 als den Mittelwerth des Brechungscoëfficienten des Tafelglases an, so findet man 56° 40′ für den mittleren Polarisationswinkel und 33° 20′ für die Ergänzung desselben zu einem Rechten. Die physikalischen Lehrbücher pflegen den letzteren Winkel zu 35° 25′ nach Malus anzugeben. Dieses entspricht dem niederen Ablenkungscoëfficienten 1, 41.

§. 31. Ist das spiegelnde Mittel unkrystallinisch, so fällt die Polarisationsebene des vollständig polarisirten zurückgeworfenen Strahles mit der Reflexionsebene zusammen. Dieses ist bei krystallinischen Mitteln nicht der Fall. Neumann[1] nennt die Ablenkung oder die Abweichung der Polarisationsebene den Neigungswinkel, den beide bilden.

§. 32. Man kann auf diese Weise einen hinten geschwärzten Glasspiegel benutzen, um gewöhnliches Licht in polarisirtes zu verwandeln. Wir werden sehen, dass sich dieses auch auf die Untersuchung der Gewebe in manchen Fällen anwenden lässt. Die Lichtstärke des nur von der Oberfläche einer Glasplatte zurückgeworfenen polarisirten Lichtes ist aber dann immer verhältnissmäs-

1. Radicke in Doves Repertorium Bd. III. Berlin 1839. 8. S. 191 und Handbuch der Optik. Bd. I. S. 186. Billet, *Traité d'Optique physique. Tome II.* Paris 1859. p. 173.

sig gering. Nimmt man den Brechungscoëfficienten des Glases zu 1,52 an und denkt sich den Spiegel so eingestellt, dass der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleicht, so ergibt sich aus der Anwendung der FRESNELschen Intensitätsformeln, dass die Lichtstärke des reflectirten vollständig polarisirten Strahles 0,08 oder nur $^1/_{12}$ bis $^1/_{13}$ der Stärke des einfallenden Lichtes beträgt[1].

§. 33. Man kann die Menge des zurückgeworfenen polarisirten Lichtes verstärken, wenn man eine Reihe möglichst planplaner Glasplatten hinter einander anbringt oder einen sogenannten Plattensatz, eine Glassäule oder Spiegelsäule gebraucht. Das Streben, eine Vorrichtung der Art von kleinerem Umfange herzustellen, bewog auch vorzugsweise ältere Forscher, eine Reihe von Glimmerblättchen auf einander zu schichten, eine sogenannte Glimmersäule herzustellen. Die Doppelbrechung dieses Minerales, die nicht ganz ebenen Spaltungsflächen, die Farben, welche bei dem Mangel des Parallelismus der optischen Achsen der mittleren und der äusseren Blättchen zum Vorschein kommen, sind Nachtheile, welche die allerdings schwerfälligeren und theuereren Plattensätze vorziehen lassen.

§. 34. Trifft natürliches Licht eine Glasplatte, so enthält nach ARAGO das gebrochene eben so viel polarisirtes Licht, als das zurückgeworfene. Der polarisirte Theil des ersteren, dessen Polarisationsebene auf der des reflectirten senkrecht steht, bildet daher nur einen kleinen Bruchtheil des Lichtes überhaupt, das die Glasplatte durchsetzt. Ein Theil von diesem wird an der hinteren Fläche der Glasplatte zurückgeworfen und an der vorderen gebrochen. Es liefert also einen geringen Zuwachs zu dem an der Oberfläche reflectirten Lichte. Die Hauptmasse gelangt auf und in eine zweite hinter ihr befindliche Glasplatte, wo sich der gleiche Vorgang, nur mit dem Unterschiede wiederholt, dass hier schon mehr

---

1. Der etwas kleinere Werth (0,074), den man in den mathematischen Lehrbüchern der Physik anzuführen pflegt, rührt nur davon her, dass man $^3/_2$ als Brechungscoëfficienten des Glases der Kürze wegen voraussetzt.

polarisirtes Licht einfällt. Nun kann man das gewöhnliche Licht, welches auf die erste Spiegelfläche gelangt, so ansehen, als bestehe es aus zwei senkrecht auf einander polarisirten Lichtmassen (§. 26), deren Polarisationsebenen Winkel von + 45° und − 45° mit der Einfallsebene bilden. Erzeugt sich ein zurückgeworfener und ein gebrochener Strahl, so hat jener einen kleineren und dieser einen grösseren Neigungswinkel seiner Polarisationsebene zur Einfallsebene. Das Licht ist daher nur theilweise in dieser letztern polarisirt, wenn es nicht unter dem Polarisationswinkel eingefallen (§. 29). Wiederholen sich die Zurückwerfungen und die Brechungen in einer Reihe von Glasplatten, so dass die Reflexionsebenen derselben unter einander und ebenso die Brechungsebenen wechselseitig parallel bleiben, so vermindert sich die Neigung der Polarisationsebene gegen die Einfallsebene für den zurückgeworfenen Strahl und die gegen eine auf ihr senkrechte Ebene für den gebrochenen und zwar um so mehr, eine je grössere Zahl von Platten man braucht. Dieses Ziel wird um so früher erreicht, je mehr sich der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel nähert[1]. Man kann auf diese Weise nicht bloss einen verhältnissmässig lichtstarken und (fast) vollständig polarisirten zurückgeworfenen, sondern auch einen in letzterer Hinsicht beinahe eben so beschaffenen gebrochenen Strahl erhalten, ein Vortheil, den der Gebrauch einer einzigen planparallelen Platte nie zu gewähren vermag.

§. 35. Malus hat zuerst mit Biot[2] die Plattensätze eingeführt. Die für diese gültigen Formeln[3] lehren, dass das unter dem Polarisationswinkel einfallende natürliche Licht mit beinahe genau der halben ursprünglichen Lichtstärke in der Einfallsebene polarisirt zurückgeworfen wird, wenn man eine bedeutende Zahl von Platten gebraucht. Fast die ganze übrige Hälfte, die dem gebrochenen Lichte (abgesehen von der Absorption) entspricht, ist senkrecht auf die Einfallsebene polarisirt.

---

1. Siehe z. B. Radicke a. a. O. Bd. I. S. 174.
2. Biot, *Traité*. Tome IV. p. 295. 297.
3. Siehe z. B M. F. Billet, *Traité d'Optique physique*. Tome I. Paris 1858. 8. p. 416—21. Vgl. Mousson a. a. O. S. 347. 348.

Ein Theil der später anzuführenden Beobachtungen ist mit Plattensätzen angestellt, die aus je 12 Glasplatten bestehen. Diese Zahl reicht schon hin, dass die Menge des zurückgeworfenen polarisirten Lichtes erst in der zweiten Decimale von dem Werthe $^1/_2$ abweicht.

§. 36. Die Plattensätze können in der Regel an einer Gradeintheilung gedreht werden, damit man sie an ihr, wie man sich nicht ganz passend ausdrückt, unter dem Polarisationswinkel einstelle. Fig. 7 wird die näheren Verhältnisse erläutern. Wir denken uns, ab sei ein der Achse cd des Polarisationsinstrumentes paralleler Stab, an dem der Plattensatz ef unter dem Winkel α befestigt worden, und gh das Einfallsloth des Strahles gk. Da der Winkel $egc = \alpha$ und gh auf ef senkrecht steht, so folgt, dass der zurückgeworfene Strahl gc nur dann in der Achsenrichtung des Instrumentes dahingeht, wenn der Einfallswinkel $90^0 - \alpha$ beträgt. Nun liegt der Nullpunkt der Scala in der Achsenrichtung ba oder dc. Soll der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel entsprechen, so muss man den Plattensatz nicht unter diesem, sondern unter dessen Ergänzung zu einem Rechten, also für Glas nicht unter $56^0\ 40'$, sondern unter $33^0\ 20'$ einstellen (§. 30).

Fig. 7.



§. 37. Will man den zurückgeworfenen Strahl allein benutzen, so nimmt man am besten ein schwarzes Glas als letzte Säulenplatte. Bestehen dagegen alle Stücke aus durchsichtigem Glase, so kann man nicht bloss den zurückgeworfenen, sondern auch den gebrochenen Strahl beobachten. Der erstere ist in der Einfallsebene und der letztere senkrecht auf dieser polarisirt. Lässt man das gewöhnliche Licht durch die Zurückwerfung von einem ersten Spiegel oder Plattensatze, einem Polarisator in linear polarisirtes Licht übergehen und nimmt man eine zweite Glassäule als Zerleger oder Analysator, so wird der zurückgeworfene Strahl hell

geben und statt des gebrochenen Dunkelheit erscheinen, wenn die beiden Einfallsebenen parallel sind. Schneiden sie sich rechtwinkelig, so hat man das Umgekehrte Die Folgen zwischenliegender Winkelstellungen lassen sich nach dem MALUSschen Gesetze (§. 25) berechnen.

§. 38. Die doppelte Brechung kann ebenfalls zwei entgegengesetzt polarisirte Bilder, wie die Zurückwerfung und die einfache Brechung, liefern (§. 20). Spaltet sich ein Strahl gewöhnlichen Lichtes bei seinem Durchgange durch einen doppelt brechenden Körper in zwei Strahlen, einen gewöhnlichen oder ordentlichen und einen ungewöhnlichen oder ausserordentlichen, so zeigt sich, dass diese beiden vollständig und wechselseitig rechtwinkelig polarisirt sind. Braucht man also einen doppelt brechenden Körper als Zerleger, so erhält man die zwei entgegengesetzten Bilder neben einander, sobald überhaupt zwei Strahlen zum Vorschein kommen. Man vermeidet aber viele störende Anschauungen, wenn man eines der beiden Bilder fortschafft und so die Doppelbrechung nur zur Polarisation zu benutzen sucht.

§. 39. Der allgemeinste Fall, der hier auftreten kann, besteht darin, dass alle drei Elasticitätsachsen (§. 19) verschiedene Werthe darbieten. Diese hängen aber von den entsprechenden Grössen des Elasticitätsmoduls ab (§. 18), sind (unter den gegebenen Verhältnissen) beständig und gehören also zu den optischen Constanten. Sie stehen in geradem Verhältnisse zu den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten längs der entsprechenden Achsen und in umgekehrtem zu dem Brechungsverhältnisse eines in ihnen dahingehenden und senkrecht auf ihnen polarisirten Strahles einer gegebenen Farbe[1] (§. 20). Man kann beweisen, dass ein Krystall, in welchem die Elasticitätsachsen nach den drei rechtwinkeligen Durchmessern überall von ungleicher Grösse und gleichartig gelagert sind, bei allen vorkommenden Verhältnissen der krystallographischen Achsen nie mehr und nie weniger als zwei optische Achsen oder zwei

1. FRESNEL, Pogg. Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 410 ff.

gesonderte Richtungen ohne doppelte Strahlenbrechung (§. 20) besitzt[1]. Die beiden Strahlen, die ein zweiachsiger Körper sonst liefert, sind, allgemein genommen, beide ausserordentliche (§. 41), indem keiner derselben dem SNELLschen Brechungsgesetze gehorcht und die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der zwei Wellenebenen nicht beständig sind, sondern mit der Lage des Strahles wechseln. Da FRESNEL[2] diese Thatsache erst nachträglich entdeckte, so erklärt sich hieraus, weshalb sich vorher die unrichtige Uebertragung des Ausdruckes: ordentlicher Strahl auf die zweiachsigen Körper in der Wissenschaft einbürgern konnte. Der sogenannte ordentliche Strahl der zweiachsigen Massen ist derjenige, der am wenigsten von dem SNELLschen Gesetze abweicht.

§. 40. Die Gleichung des Constructionsellipsoides (§. 21) lehrt, dass dasselbe (gleich anderen Ellipsoiden[3]) zwei durch (den mittleren Durchmesser oder) die mittlere Elasticitätsachse gehende Kreisschnitte besitzt, d. h. Durchschnitte, die Kreisflächen entsprechen. Manche bezeichnen schon als optische Achsen die auf diesen senkrecht stehenden Linien (§. 20). NEUMANN dagegen unterscheidet sie mit Recht mit dem besonderen Namen der Strahlenachsen. Die Elasticitätsfläche (§. 21) besitzt ebenfalls zwei Kreisschnitte, deren Normalen die optischen Achsen sind (§. 20). Einzelne bezeichnen übrigens die Normalen der Kreisschnitte des Elasticitätsellipsoides mit der Benennung der secundären optischen Achsen, die von noch Anderen in einem abweichenden, uns nicht interessirenden Sinne gebraucht wird.

§. 41. Geht ein Strahl in einer ausserhalb der Ebene der beiden optischen Achsen liegenden Richtung dahin, so denke man sich zwei Ebenen durch ihn und die zwei optischen Achsen gelegt. Die

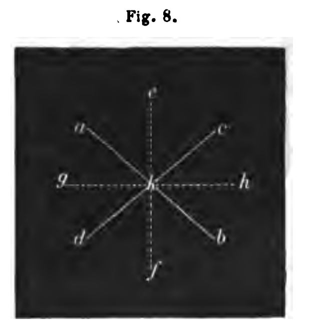
---

1. NEUMANN, Pogg. Ann. Bd. XXV. 1832. S. 426 und 450.
2. FRESNEL, a. a. O. S. 523.
3. Siehe z. B. LEFÉBURE DE FOURCY, *Leçons de Géométrie analytique. Troisième Edition.* Paris 1834. 8. p. 490—94.

auf einander senkrechten Schwingungsebenen (§. 38) liegen dann in den die Winkel jener beiden Ebenen halbirenden Richtungen. Nimmt man, wie gewöhnlich (§. 9), die einfallende Welle eben an, so lege man eine der Wellenebene oder Wellenfronte parallele Ebene durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche. Man erhält dann eine Schnittfläche, die von einem Ovale begrenzt wird. Dieses, welches sich einer Ellipse nähert, hat zwei Achsen, deren halbe Werthe die beiden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Wellenebene darstellen. Nun verhalten sich diese umgekehrt wie die Brechungscoëfficienten. Man wird also zwei den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Doppelwelle entsprechende Strahlen von verschiedener Ablenkung erhalten, von denen keine dem gewöhnlichen, für Kugelwellen gültigen SNELLschen Brechungsgesetze folgt.

§. 42. Zwei gerade Linien bestimmen die Lage einer Ebene. Ein Hauptschnitt eines zweiachsigen Krystalles heisst diejenige Ebene, in der sich zwei von den drei verschiedenen Elasticitätsachsen befinden. Die beiden optischen Achsen *ab* und *cd* Fig. 8 liegen symmetrisch in derjenigen Ebene, welche die Achsen der grössten und der kleinsten Elasticität *ef* und *gh* enthält. Die letzteren, die sich natürlich rechtwinkelig schneiden, hälften den spitzen und den stumpfen Winkel, den die beiden optischen Achsen bilden. Diejenige *ef*, welche den spitzen Winkel in zwei gleiche Theile sondert, heisst die Mittellinie. Sie kann der Achse der kleinsten oder der der grössten Elasticität entsprechen. Geht die Achse der kleinsten Elasticität längs der Mittellinie dahin oder halbirt die der grössten Elasticität *gh* den stumpfen Winkel der beiden optischen Achsen, so heisst der Körper optisch positiv oder anziehend. Verläuft dagegen die Achse der grössten Elasticität in der Mittellinie und hälftet sie auf diese Art den spitzen Winkel, so hat man eine negative oder abstossende Masse. Während manche Forscher diese Erklärung ge-

Fig. 8.



ben[1], liefern andere[2] die umgekehrte, weil sie von dem Ellipsoid mit reciproken Achsenwerthen ausgehen (§. 21).

§. 43. Die Wellenlänge oder die Farbe des durchtretenden Lichtes bestimmt meistentheils die Lage der optischen Achsen. Der Stellungswechsel, den man die Zerstreuung oder die Dispersion der optischen Achsen[3] nennt und den wir auch in den organischen Geweben antreffen werden, kann entweder nur den Winkel, unter dem sie sich schneiden[4], oder auch die Ebene, in der sie liegen, betreffen. Weder die Wellenlänge oder die Farbe noch der positive oder negative Charakter der Doppelbrechung entscheiden hier über die Lagerungsweise nach allgemeinen Normen. Der positive Topas und der negative Aragonit stimmen z. B. darin überein, dass der spitze Achsenwinkel, den man immer mit der allgemeinen Benennung des Achsenwinkels (*akc* oder *ekg* Fig. 9) meint, für Roth kleiner, als für Violett ist. Man findet dagegen das Umgekehrte für das positive Seignettesalz und den negativen Glimmer. Der Borax und der Adular haben sie in verschiedenen Ebenen. Brewster[5] entdeckte endlich noch, dass die beiden Achsen des Glauberits für Violett bei gewöhnlicher Wärme zusammenfallen, für Roth dagegen einen Winkel von 5° gleichzeitig bilden. Sénarmont[6] erhielt Krystalle einer Mischung von weinsauerem Kali-Natron und

Fig. 9.



1. Radicke, a. a. O. Bd. I. S. 12. des Cloizeaux, *Ann. des Mines. Cinquième Série.* Tome XI. 1857. p. 261. 62.

2. A. Baer, Einleitung in die höhere Optik. Braunschweig 1853. 8. S. 314. 15..

3. J. F. W. Herschel, *Phil. Transact.* 1820. p. 45—96 und Pogg. Ann. Bd. XXVI. 1835. S. 308. Neumann, Pogg. Ann. Bd. XXXV. 1835. S. 81—85 J. Müller, Ebendas. S. 472. Billet a. a. O. T. II. p. 531.

4. Ueber den Apparat von Soleil, durch den man diesen Winkel messen kann, siehe Billet a. a. O. Tome I. p. 374.

5. Brewster, Populäres Handbuch der Optik. Uebersetzt von Hartmann. Quedlinburg und Leipzig 1835. 8. Bd. I. S. 133.

6. Sénarmont, *Ann. de Chimie. Troisième Série.* Tome XXXIII. 1851. p. 429—31.

weinsauerem Ammoniak-Natron, die für Roth einachsig und für Violett zweiachsig waren.

§. 44. Wir können natürlich die den optischen Achsen entsprechenden Strahlen nur nach dem Austritte aus dem Krystalle, also nach ihrer Brechung bei dem Uebergange in das umgebende Mittel beobachten. Wir messen daher dann den äusseren oder scheinbaren Achsenwinkel, dessen Sinus dem Producte des inneren oder wahren Achsenwinkels und des Brechungscoëfficienten gleicht. Man findet daher diesen zweiten Winkel, wenn man den Sinus des ersteren durch das Ablenkungsverhältniss theilt.

§. 45. Die einachsigen Krystalle bilden nur den Einzelfall der zweiachsigen, bei dem der Achsenwinkel Null geworden. Da man manche zweiachsige Krystalle, die sehr kleine Achsenwinkel besitzen, für einachsige gehalten hat (§. 253), so könnte man glauben, dass die letzteren in strengstem Sinne des Wortes überhaupt nicht vorkommen. Die Veränderungen, welche die Wärme erzeugt, sprechen aber für das Gegentheil. Erwärmt man z. B. den Gyps, so verkleinert sich zuerst der Achsenwinkel in der ursprünglichen Ebene der optischen Achsen. Diese begeben sich aber bei fortgesetzter Erwärmung in eine Ebene, die auf der früheren senkrecht steht. Der als stetig vorauszusetzende Uebergang des Wechsels der Winkelgrösse führt hier durch den Nullwerth des Achsenwinkels, der in der That bei 91^{0}, 9 C. nach MITSCHERLICH[1] auftritt.

§. 46. Stellt man sich vor, dass sich die beiden optischen Achsen durch die allmählige Abnahme des spitzen Achsenwinkels vereinigt haben, so wird die Lage der einfachen optischen Achse der einachsigen Krystalle der der Mittellinie der zweiachsigen (*ek* Fig. 8) entsprechen. Die beiden Kreisschnitte der letzteren, deren

1. MITSCHERLICH, Pogg. Ann. Bd. VIII. 1826. S. 520.

Normalen die optischen Achsen bilden (§. 20), treten zu einem Kreisschnitte zusammen. Man hat daher hier nur zwei zu einander senkrechte Elasticitätsachsen, von denen die eine in der Richtung der optischen Achse und die andere in der unbestimmteren Richtung eines beliebigen Halbmessers des Kreisschnittes dahingeht. Hieraus folgt, dass hier die Lage des Hauptschnittes (§. 42) insofern unbestimmt wird, als die dem Halbmesser des Kreisschnittes entsprechende zweite Elasticitätsachse keine bestimmte Richtung darbietet. Man kann daher zunächst nur sagen, dass jede Ebene, welche die optische Achse enthält, einen Hauptschnitt eines optisch einachsigen Körpers bildet. Die zweite Linie, welche die Lage der Ebene feststellt, bleibt der Willkühr überlassen. Die Meisten erklären den Hauptschnitt als diejenige Ebene, welche die optische Achse und den in Betracht kommenden Strahl einschliesst, Andere als die, welche durch die Krystallachse und die Wellennormale geht, endlich Einzelne als die, welche die optische Achse und das Einfallsloth enthält, oder als die auf der untersuchten Platte senkrechte Ebene, in der die optische Achse verläuft. Der Hauptschnitt bildet die erste und eine auf ihn senkrechte Ebene die zweite ausgezeichnete Ebene eines doppelt brechenden Körpers.

§. 47. Da die zwei Elasticitätsachsen einer einachsigen Masse denselben Werth haben, so geht die Gleichung des Constructionsellipsoides (§. 21) in eine andere über, der auf doppelte Art Genüge geleistet werden kann, durch eine Kugel, deren Halbmesser dem Fahrstriche des betrachteten Punktes entspricht, und durch ein Rotationsellipsoid, dessen Achsen umgekehrt, wie die des Constructionsellipsoides liegen. Die Wellenfläche (*acbf* und *agbd* Fig. 10) besteht daher im Allgemeinen aus zwei Mänteln, von denen der eine *acb* und *adb* der Fläche einer Kugel und der andere *afb* und *agb* der eines Drehungsellipsoides angehört.

§. 48. Da die optische Achse der Mittellinie entspricht, so geht sie in der Richtung der kleinsten Elasticitätsachse in den po-

sitiven Krystallen dahin (§. 42). Der Halbmesser des Kreisschnittes entspricht also der grösseren Elasticitätsachse. Die Kugel umschliesst daher hier das Drehungsellipsoid Fig. 10, dessen längere Achse *ab* die Polachse und dessen kürzere *fg* die Aequatorial-

Fig. 10.

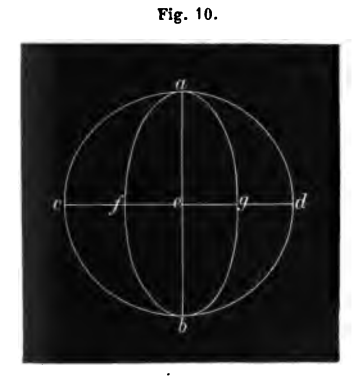
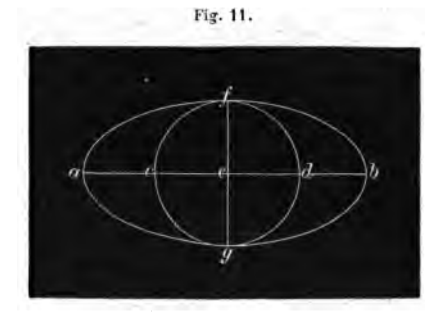


Fig. 11.



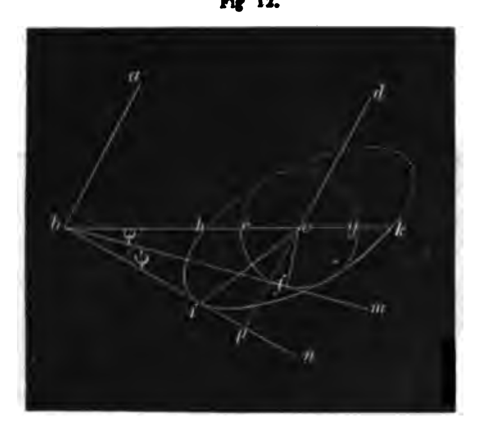
achse ist, das also ein langgestrecktes Sphäroid bildet. Die negativen Körper haben die grössere Elasticitätsachse längs der optischen Achse. Der Kugelhalbmesser entspricht also hier, Fig. 11, der kleineren halben Elasticitätsache *ef*. Sie wird von dem Drehungsellipsoid eingeschlossen, dessen Polachse *fg* kleiner als die Aequatorialachse *ab* ist, das also ein abgeplattetes Sphäroid darstellt. Es kommt auch hier vor (§. 42), dass einzelne Mathematiker[1] die umgekehrte Bestimmung geben.

§. 49. Da die von dem Snellschen Gesetze beherrschte einfache Brechung einer Kugelwelle entspricht, so wird sich hier dasselbe für den einen der beiden Strahlen, den ordentlichen im strengsten Sinne des Wortes wiederholen. Der ausserordentliche dagegen, der dem Drehungsellipsoid angehört, bietet diese Fügsamkeit gegen das gewöhnliche Brechungsgesetz nicht dar. Die Construction von Huyghens, nach der man im Flächendurchschnitt

1. S. G. Ohm in den Abhandl. der Münchener Akademie. Bd. VII. München 1856. S. 56.

eine Kreiswelle *efg* Fig. 12 für den ordentlichen Strahl *cf* und eine elliptische Welle *hik* für den ausserordentlichen *ci* von dem Erschütterungsmittelpunkte *c* ausgehen lässt, rechtfertigt sich nach dem Dargestellten ohne Weiteres.

Fig. 12.



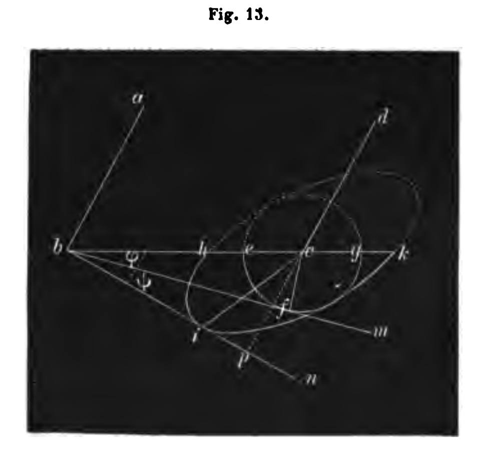
§. 50. Die Kreiswelle umschliesst die elliptische in den positiven Krystallen. Der ausserordentliche Strahl hat also hier eine geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit, mithin einen grösseren Brechungscoëfficienten (§. 11), als der ordentliche. Der letztere gleicht aber dem Quotienten des Sinus des Einfallswinkels und des Sinus des Brechungswinkels. Soll der Brechungscoëfficient für den gleichen Einfallswinkel wachsen, so muss der Brechungswinkel kleiner werden. Der ausserordentliche Strahl der positiv einachsigen Körper besitzt daher einen grösseren Brechungscoëfficienten und (unter sonst gleichen Verhältnissen) einen kleineren Brechungswinkel als der ordentliche. Die gleiche Schlussweise lehrt, dass das Umgekehrte für die negativ einachsigen Massen Statt findet. Fig. 12 versinnlicht dieses unmittelbar, wenn man bedenkt, dass hier *abcd* die ebene einfallende Welle, *bk* die Oberfläche der Krystallplatte und *cf* den gebrochenen ordentlichen Strahl mit dem Brechungswinkel φ, *ci* dagegen den ausserordentlichen Strahl mit dem Ablenkungswinkel ψ darstellt.

§. 51. Biot entdeckte zuerst den zwiefachen optischen Charakter der doppelt brechenden Massen an Platten, die senkrecht auf die optische Achse geschliffen waren. Das Einfallsloth fiel also hier mit der optischen Achse zusammen. Hat der ausserordentliche Strahl der positiven Körper einen kleineren Brechungswinkel, so

verläuft er der Achse näher. BIOT[1] verglich daher dieses mit einer Anziehung von Seiten der Achse und nannte desshalb die Krystalle, die man jetzt als positiv anführt, anziehende oder attractive und die negativen, in denen der ausserordentliche Strahl weiter von der Achse dahingeht, als der ordentliche, abstossende oder repulsive.

BREWSTER[2] führte die Namen positiv und negativ nach Vergleichungen mit den Erscheinungen des Magnetismus und der Elektricität ein, die mir nicht klar geworden. Diese Bezeichnungsweise hatte schon eine gewisse Berechtigung in der mathematischen Darstellung der Emanationstheorie. Ein von der Natur der Masse abhängiger Coëfficient, den LAPLACE bei der Herleitung des HUYGHENSschen Gesetzes der Doppelbrechung aus dem Principe der kleinsten Wirkung gebrauchte (§. 7), ist im Allgemeinen in den anziehenden einachsigen Körpern positiv und in den abstossenden negativ[3]. Man kann eine ähnliche Beziehung im Sinne der Wellenlehre herausfinden, wenn man nicht von der grössten, sondern von der kleinsten Elasticitätsachse ausgeht. Diese halbirt den spitzen Achsenwinkel der positiven und den stumpfen der negativen zweiachsigen Krystalle. Da der Sinuswerth in den beiden ersten Quadranten positiv bleibt, der Cosinus dagegen bei 90⁰ durch die Null gehend sein Zeichen ändert, so ist auch die Tangente eines spitzen Winkels positiv und die eines stumpfen negativ.

Fig. 13.

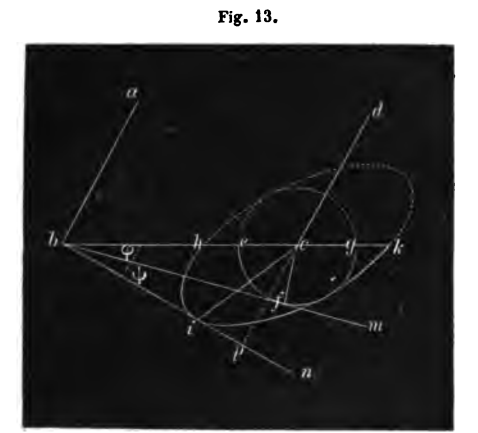


§. 52. Die an den Kreis *efg* Fig. 13 ge-

1. BIOT, *Mém. de l'Institut. Année* 1818. Tome III. Paris 1820. 4. p. 192.
2. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1818. p. 219.
3. BIOT, Lehrbuch der Experimentalphysik. Uebersetzt von FECHNER. Zweite Auflage. Bd. IV. Leipzig 1829. 8. S. 346.

legte Tangente *bfm* steht immer auf dem nach dem Berührungspunkte *f* gezogenen Halbmesser *cf* senkrecht. Die Tangente *bin* der Ellipse *hik* aber schneidet nur dann den Fahrstrich *ci* rechtwinkelig, wenn dieser mit der grossen oder der kleinen Achse derselben zusammenfällt[1]. Da die Kugel durch Umdrehung des Kreises um den Halbmesser *cf* und das Drehungsellipsoid durch die Drehung der Ellipse um eine ihrer beiden Achsen erzeugt wird, so gilt jener Doppelsatz auch für diese Körper in Bezug auf die Normale der Tangentenebene. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung des Strahles entspricht aber dem Fahrstriche der Ellipse, der für die Kugel zum Halbmesser wird; die der Wellenebene dagegen der senkrechten Linie *cp*, die von dem Erschütterungsmittelpunkte *c* aus auf die Tangentenebene gezogen ist (§. 13). Beide Fortpflanzungsgeschwindigkeiten fallen daher nur für die Kugelwellen oder die einfache Brechung und den ordentlichen Strahl der Doppelbrechung immer zusammen. Sie sind sonst so lange verschieden, als nicht die Richtung des Strahles in der Richtung einer der beiden den Ellipsenachsen entsprechenden Elasticitätsachsen dahingeht.

Fig. 13.



§. 53. Man hat auch hier das Gesetz, dass sich der Sinus des Einfalls- zu dem des Brechungswinkels wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der entsprechenden Wellenebenen verhalten. Da die der ordentlichen Welle (als Kugelhalbmesser) beständig bleibt, so fällt die für diese geltende Norm mit dem SNELLschen Brechungs-

1. Siehe z. B. LEFÉBURE DE FOURCY a. a. O. p. 263. 64.

gesetze zusammen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der ausserordentlichen Wellenebene dagegen kann nach Maassgabe der Lage des Fahrstriches und der Werthe der beiden Achsen des Rotationsellipsoides wechseln. Der Brechungscoëfficient des ausserordentlichen Strahles ändert sich daher mit den verschiedenen Lagen des einfallenden Strahles. Er geht in positiven Krystallen von seinem Maximum bis zu dem Werthe des ordentlichen Strahles hinab und steigt zu diesem in negativen Körpern von einem relativen Minimum empor.

§. 54. Ein Strahl, der längs der optischen Achse verläuft, wird einfach gebrochen, weil er auf dem Kreisschnitte des Constructionsellipsoides senkrecht steht (§. 20. 21). Hat man eine Platte, deren beide Grenzebenen die optische Achse rechtwinkelig schneiden, so geht jeder senkrechte, also in der Richtung der optischen Achse verlaufende Strahl, wie bei einem einfach brechenden Mittel, ohne alle Ablenkung durch. Ist die zweite Grenzfläche gegen die erste geneigt, so erhält man nur einen Strahl, der aber natürlich gegen seine frühere Bahn eingeknickt ist. Der Brechungscoëfficient dieses einen gewöhnlichen Strahles ist der kleinstmögliche in positiven und der grösstmögliche in negativen Körpern.

Tritt ein Strahl durch eine Platte, deren beide Grenzebenen der optischen Achse parallel gehen, senkrecht durch, so kommt ebenfalls nur ein einziger austretender Strahl zum Vorschein. Ein solcher zur optischen Achse rechtwinkeliger Strahl, der, wie man sich ausdrückt, nur ausserordentlich gebrochen wird, hat den grösstmöglichen Brechungscoëfficienten in positiven und den kleinstmöglichen in negativen Körpern. Schneidet die zweite Grenzfläche die erste, so erhält man nicht einen, sondern zwei Strahlen nach dem Durchgange des Lichtes durch ein solches Prisma. Man hat also zwei Strahlen, die früher in gleicher Richtung mit ungleicher Geschwindigkeit dahingingen.

§. 55. Ein jeder, weder parallel, noch senkrecht zur optischen Achse verlaufende Strahl zerlegt sich, wie wir sahen, in zwei rechtwinkelig zu einander polarisirte Strahlen mit ungleicher

Fortpflanzungsgeschwindigkeit oder verschiedenen Brechungscoëfficienten. Die beiden Polarisationsebenen liegen in den zwei ausgezeichneten Ebenen und zwar die des ordentlichen Strahles in der ersten und die des ausserordentlichen in der zweiten (§. 46). Die Aethertheilchen, welche dem ordentlichen Strahle entsprechen, schwingen daher senkrecht zum Hauptschnitte, mithin auch senkrecht zur optischen Achse. Die Schwingungsebene des ausserordentlichen Strahles fällt mit dem Hauptschnitte zusammen.

§. 56. Während der Brechungscoëfficient des ordentlichen Strahles unverändert bleibt, wechselt der des ausserordentlichen mit der Neigung des Strahles zur optischen Achse. Die ihm entsprechende Fortpflanzungsgeschwindigkeit lässt sich durch einen gleichgeneigten Fahrstrich einer correspondirenden Ellipse ausdrücken[1]. Die Grösse desselben wechselt also zwischen den Werthen der beiden Achsen. Der gebrochene ordentliche Strahl bleibt immer in der Brechungsebene, wie man sie für die einfache Brechung erklärt. Der einfallende, der gebrochene Strahl und das Einfallsloth liegen also hier in derselben Ebene. Der ausserordentliche Strahl bietet das Gleiche nur in Ausnahmsfällen dar.

Langt der Strahl schief an, so dass die Einfallsebene keinem Hauptschnitte entspricht, so befindet sich der gebrochene ausserordentliche Strahl ausserhalb der Fortsetzung der Einfallsebene. Man hat also zwei Brechungsebenen, die mit der Einfallsebene zusammenfallende des ordentlichen und eine gegen sie geneigte des ausserordentlichen Strahles. Dieser Winkel wächst, so wie sich der der Einfallsebene mit dem Hauptschnitte vergrössert. Fallen diese beiden Ebenen zusammen, so verlaufen daher der ordentliche und der ausserordentliche Strahl in dem Hauptschnitte (§. 54). Kreuzen sie sich rechtwinkelig, so erreicht die seitliche Ablenkung des ausserordentlichen Strahles ihre höchst mögliche Grösse.

§. 57. Bildet die Polarisationsebene eines einfallenden linear

1. Eine graphische Erläuterung dieses Verhältnisses findet sich z. B. bei Billet a. a. O. Tome I. p. 266. 267. Pl. V. Fig. 81.

polarisirten Strahles einen Winkel, der zwischen Null und einem Rechten liegt, mit dem Hauptschnitte, so hat man eine Sonderung in zwei wechselseitig senkrechte Polarisationsebenen, in die des ordentlichen Strahles, die dem Hauptschnitte parallel, und die des ausserordentlichen, die auf ihm senkrecht ist. Da die Zerlegung der Amplitude nach dem Parallelogramm der Kräfte erfolgt, so bestimmt das MALUSsche Cosinusgesetz die verhältnissmässige Lichtstärke der zwei Theilstrahlen. Sie ist bei 45° für beide gleich, weil hier der Sinus- und der Cosinuswerth zusammenfallen. Geht man von dem Winkel aus, den die ursprüngliche Polarisationsebene des zugeführten Strahles mit dem Hauptschnitte des Krystalles macht, so hat man die volle Lichtstärke des zugeführten Strahles (abgesehen von der Zurückwerfung und der Absorption) für den ordentlichen Strahl, wenn jener Winkel Null und für den ausserordentlichen, wenn er einem Rechten gleicht. Da der zweite Strahl in beiden Fällen verschwindet, so erhält man nur eine einfache Brechung, so wie die Polarisationsebene des zugeführten Strahles mit einer der beiden ausgezeichneten Ebenen zusammenfällt und zwar nur die ordentliche, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene dem Hauptschnitte parallel und nur die ausserordentliche, wenn sie auf ihm senkrecht steht. Es erhellt zugleich, dass die Richtung der ursprünglichen Polarisationsebene unverändert bleibt, so wie sie in einer der beiden ausgezeichneten Ebenen liegt.

§. 58. Die zuletzt entwickelten Sätze geben den Schlüssel zu dem Verständnisse der Wirkungsweise der gewöhnlichen Polarisationsapparate. Wir denken uns, ein solches Instrument besitze einen Polarisator, der einen linear polarisirten Strahl durch die Achse des Analysators sendet und dessen Polarisationsebene dem Nullpunkte einer auf der Achse senkrechten Gradeintheilung entspricht. Besteht der Analysator aus einem doppelt brechenden Körper, so erhält man zwei entgegengesetzt polarisirte Bilder, also im Allgemeinen ein helleres und ein dunkeleres, sowie die beiderseitigen Polarisationsebenen andere Winkel als 0°, 45° oder 90° bilden. 0° gibt uns ein möglichst helles Bild, weil das zweite ganz dunkel ist. Das letztere wird hell und das erstere dunkel, wenn der Ana-

lysator unter dem Azimuth 90° eingestellt worden. Man hat also nur einfache Bilder in diesen beiden Fällen. Die zwei Bilder werden gleich hell ausfallen, wenn sich die beiden Polarisationsebenen unter ± 45° schneiden.

Gibt der Zerleger nur ein Bild, so ist dieses hell, wenn die Polarisationsebenen parallel, dunkel, wenn sie rechtwinkelig und halbhell, wenn sie unter ± 45° gekreuzt stehen. Der Fall, den man bei der Untersuchung der Doppelbrechung am häufigsten anwendet und den wir bei der späteren Darstellung immer zunächst voraussetzen, ist der der rechtwinkeligen Kreuzung der Polarisationsebenen, also des dunkelen Gesichtsfeldes. Alles was hier hell erscheint, wird dunkel und umgekehrt, sowie man die Polarisationsebenen parallel stellt.

§. 59. Schalten wir einen planplanen doppelt brechenden einachsigen Körper, der nicht senkrecht zur Achse geschnitten ist, so ein, dass ihn die parallel der Achse des Polarisationsinstrumentes dahingehenden Strahlen rechtwinkelig durchsetzen, so wird eine bestimmte senkrechte Ebene desselben, in die zugleich die Richtung der Achse fällt, den Hauptschnitt bilden (§. 46). Man hat daher das Minimum des Lichtes, wenn dieser einer der beiden rechtwinkelig gekreuzten Polarisationsebenen parallel und das Maximum, wenn er unter ± 45° zu ihnen steht (§. 55). Dreht man die Platte in ihrer Ebene und senkrecht um die Achse des Polarisationsinstrumentes, so geben die zwei Richtungen der grössten Dunkelheit die der beiden ausgezeichneten Ebenen an. Man findet zwei andere der grössten Helligkeit, die mit den vorigen abwechseln, gerade in der Mitte zwischen ihnen liegen und daher den Zwischenpunkten ± 45° entsprechen.

§. 60. Etwas Aehnliches wiederholt sich an einer Platte eines zweiachsigen Krystalles. Die geringste Lichtstärke tritt auch hier ein, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene den ordentlichen oder den ausserordentlichen Strahl aufnimmt. Ist die Platte senkrecht auf die eine der drei Elasticitätsachsen geschnitten, so gibt es zwei Ebenen, die je zwei Elasticitätsachsen, die senkrechte und

eine zweite enthalten. Beide sind nach der allgemeinen Definition (§. 42) Hauptschnitte. Jede von diesen bevorzugten Ebenen erzeugt Dunkelheit, wenn sie einer der beiden Polarisationsebenen des Polarisationsapparates parallel steht, und die grösste Helligkeit bei der Orientirung ± 45°.

§. 61. Betrachten wir jetzt eine senkrecht zur optischen Achse geschliffene planplane Platte eines einachsigen Körpers, so hat man hier unzählig viele Hauptschnitte neben einander, weil jede in der Richtung eines beliebigen Halbmessers oder in einem beliebigen Azimuthe stehende senkrechte Ebene die optische Achse enthält. Man überblickt also auf ein Mal neben einander, was man erst durch Drehen der §. 59 erwähnten Platte nach einander bemerken konnte. Die Azimuthe 0° und 90° des kreisförmig angenommenen Gesichtsfeldes, welche den beiden Polarisationsebenen des Instrumentes entsprechen, geben dunkele, in der Richtung ihrer Durchmesser dahingehende, nicht ganz schmale und im Umkreise sich verbreiternde Bänder, das Polarisationskreuz (§. 183) und die Stellungen ± 45° die grösste Helligkeit. Dreht man die Platte in ihrer Ebene und senkrecht um die Achse des Instrumentes, so wechseln nicht die Orte der Polarisationsbilder, sondern nur die Hauptschnitte, durch die sie erzeugt werden. Ganz anders verhält sich die Sache in zweiachsigen Platten, die senkrecht auf die Mittellinie geschnitten worden. Man nennt hier die Pole oder die Mittelpunkte (§. 188) die Bildpunkte, welche den Durchschnittspunkten der optischen Achsen mit der Oberfläche entsprechen und die Verbindungslinie derselben die Polarlinie. Steht diese einer der beiden Polarisationsebenen des Polarisationsapparates parallel, so hat man auch hier ein Polarisationskreuz (§. 188). Dreht man aber die Platte in ihrer eigenen Ebene, so lösen sich die Kreuzesarme in zwei durch die Pole gehende Hyperbeln auf, deren grösste gegenseitige Entfernung in den Mittelstellungen ± 45° zu den beiden Polarisationsebenen erreicht wird. Man benutzt häufig die Gleichheit des Polarisationskreuzes bei allen Drehungen und die Auflösung desselben in zwei Hyperbeln als Unterscheidungsmerkmale der ein- und der zweiachsigen Krystalle.

§. 62. Wir werden §. 226 sehen, dass man sehr irren würde, wenn man aus der Anwesenheit eines bei allen Drehungen unveränderten Polarisationskreuzes auf die senkrechte Stellung der optischen Achse zurückschliessen wollte. Gerade die organischen Gewebe bieten häufig Verhältnisse dar, unter denen auch eine solche Kreuzfigur zum Vorschein kommt, wenn jene Achse in der Ebene der Platte liegt.

§. 63. BREWSTER[1] nannte neutrale oder nicht depolarisirende Achsen diejenigen beiden Richtungen, in denen sich die grösste Dunkelheit einer senkrecht auf die Achse oder die Mittellinie geschliffenen Platte unmittelbar oder einer nicht senkrechten durch Drehen darbietet. Die $\pm 45^0$ entsprechenden Richtungen der stärksten Helligkeit bezeichnete er als depolarisirende Achsen. Diese Ausdrücke, die noch von neueren Schriftstellern hin und wieder gebraucht werden, entsprechen nicht mehr dem heutigen Standpunkte. Bei den sogenannten neutralen Achsen kommt nur eine Achse, die optische, in Betracht. Wir werden daher in der Folge statt ihrer von neutralen Linien[2] oder Richtungen sprechen. Versteht man unter Depolarisation die Umwandlung polarisirten Lichtes in gewöhnliches, so passt diese Bezeichnungsweise nicht auf die oben erwähnte Wirkung der doppelt brechenden Körper. Diese letztere Bemerkung ist übrigens auch schon von POGGENDORFF[3] vor längerer Zeit gemacht worden.

§. 64. Man gebraucht Kalkspath- oder Quarzprismen als Zerleger, wenn man die beiden entgegengesetzt polarisirten Bilder gleichzeitig übersehen will. Ein gewöhnliches achromatisirtes Kalkspathprisma besteht aus einer Verbindung eines Kalkspath- und eines Glasprismas. Die Kanten des ersteren gehen der optischen Achse parallel. Fällt nun ein Strahl senkrecht ein, so treten an der zweiten schiefen Fläche zwei in derselben Ebene be-

---

1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1814. P. I. p. 199. 200.
2. BRANDES in Gehlers physikalischem Wörterbuch. Bd. VII. Abth. 2. Leipzig 1834. 8. S. 803.
3. POGG. Ann. Bd. XXXV. 1835. S. 330.

findliche Strahlen aus (§. 54). Nun ist der Kalkspath negativ einachsig. Der ordentliche Strahl hat einen grösseren Ablenkungscoëfficienten als der ausserordentliche und als das Glas. Der Lichtstrahl wird des senkrechten Einfallens wegen geradlinigt durchtreten, der ordentliche Strahl aber dabei im Glase nach aussen abgelenkt werden. Kittet man ein Glasprisma von annähernd dem gleichen Brechungscoëfficienten, wie für den ausserordentlichen Strahl (1,486) an das Kalkspathprisma, so wird dieser hierdurch zu einem grossen Theile achromatisirt. Der ordentliche nicht achromatisirte Strahl, der weiter nach aussen liegt, hat seine Farbenränder ausserhalb des Bezirkes, den man zu den genaueren Untersuchungen zu benutzen pflegt.

§. 65. Man gebraucht häufig ein solches Kalkspathprisma, um polarisirtes Licht zu erkennen. Da die Strahlen gewöhnlichen Lichtes als Summen von zwei rechtwinkelig polarisirten Strahlen angesehen werden können, die ihre Azimuthe von einem Zeittheilchen zum andern wechseln (§. 26), so findet hier kein Unterschied nach verschiedenen Richtungen Statt. Die Helligkeit der beiden Bilder ändert sich daher nicht, wenn man auch das Kalkspathprisma in der Ebene seiner auf den Strahl senkrechten Begrenzungsfläche herumdreht. Ist das Licht linear polarisirt, so besitzt das ausserordentliche (oder das der Achse entsprechende) Bild das Maximum der Helligkeit und das ordentliche das der Dunkelheit, wenn die Polarisationsebene des betrachteten Lichtes auf dem Hauptschnitte senkrecht steht (§. 57). Man hat das Umgekehrte, wenn sie ihr parallel ist. Dieses Verfahren, die Polarisations- und die Schwingungsebene eines z. B. durch Doppelbrechung polarisirten Strahles zu untersuchen, wurde vorzugsweise von früheren Optikern häufig angewandt. Es versteht sich von selbst, dass theilweise polarisirtes Licht nur eine Verminderung, nicht aber das Verlöschen des einen der beiden Bilder in der entsprechenden Stellung bewirken wird.

§. 66. Die d i c h r o s k o p i s c h e oder HAIDINGERsche L o u p e lässt sich bisweilen bei mikroskopischen Untersuchungen mit grösserem Vortheil desswegen anwenden, weil hier die Bilder

weiter auseinander treten. Sie besteht aus einem in einer Hülse eingeschlossenen Kalkspathprisma, dessen schiefe Endflächen bisweilen durch Glasprismen abgeglichen sind, und führt eine Sammellinse hinter der Durchsichtsöffnung. Setzt man sie über das Ocular des Mikroskopes, so nimmt die Vergrösserung beträchtlicher, als bei dem ähnlichen Gebrauche eines Nicols (§. 74) ab.

§. 67. Nimmt man den mittleren Strahl D des Spectrums und bezeichnet den ihm entsprechenden Brechungscoëfficienten des ordentlichen Strahles mit ω und des ausserordentlichen mit ε, so hat man nach Rudberg $\omega = 1,6585$ und $\varepsilon = 1,4864$ für den Kalkspath und $\omega = 1,5442$ und $\varepsilon = 1,5533$ für den Quarz. Der Unterschied beträgt also 0,1721 für jenen und nur 0,0091 für diesen. Die zwei Bilder eines Quarzprismas weichen daher weniger auseinander, als die eines gleich langen Kalkspathprismas. Man müsste desshalb weit längere Quarzprismen herstellen. Statt diese durch Glas zu achromatisiren, verband Wollaston[1] zwei Quarzprismen mit senkrecht gekreuzten Hauptschnitten und erreichte so den Vortheil, dass nur zwei Bilder statt vier zum Vorschein kommen und die Divergenz derselben das Doppelte von der beträgt, die ein einfaches Prisma von gleicher Länge liefern würde. Da der Quarz positiv ist, so hat man hier ursprünglich die umgekehrte Strahlenvertheilung, wie bei dem Kalkspathprisma. Der ordentliche Strahl ist also am meisten abgelenkt. Ein solches Wollastonsches Prisma von zwei Centimetern Länge kann ebenfalls mit Erfolg oberhalb des Oculares des Mikroskopes aufgesetzt werden.

§. 68. Viele doppelt brechende Krystalle besitzen die Eigenschaft, ungleiche Farben, je nach Verschiedenheit der Durchgangsrichtung derselben zu verschlucken. Benutzt man weisses Licht, das aus der Mischung aller möglichen Farbenstrahlen besteht, so bleibt daher in der einen z. B. der optischen Achse entsprechenden Richtung ein anderer Farbenrest, der durchgelassen wird,

---

1. Siehe das Nähere bei Herschel, Vom Licht. Uebersetzt von Schmidt. Stuttgart und Tübingen 1831. 8. S. 477. 78.

übrig, als in der auf ihr senkrechten. Ein solcher Körper liefert mithin zwei Farben, er ist dichroitisch, je nachdem man ihn nach einander längs zweier rechtwinkelig sich kreuzender Ebenen ansieht.

§. 69. Die Ungleichheit der Absorption erstreckt sich häufig auch auf die beiden Bilder, welche die Doppelbrechung selbst liefert. Nachdem Brewster[1] die erste hierher gehörende Beobachtung am Achat gemacht hatte, entdeckten Biot[2] (und Seebeck) die Eigenschaften des Turmalins, dessen häufige Anwendung bei Polarisationsuntersuchungen sich trotz des von Marx später empfohlenen Dichroits erhalten hat. Es gibt Exemplare jenes negativ einachsigen Minerals, die längs der Achse dunkelroth und senkrecht auf ihr grün erscheinen. Ein dünn auslaufender Turmalinkeil, dessen Kante der optischen Achse parallel geht, liefert ein doppeltes Bild an den dünneren und ein einfaches an den dickeren Stellen, weil eine der Achse parallele Platte vorzugsweise das ordentliche Bild verschluckt und nur das ausserordentliche durchlässt. Rothe bis rothbraune und vor Allem grüne Turmaline eignen sich am besten, diese Erscheinung nutzbar zu machen. Manche Optiker, z. B. Herschel[3], geben an, dass die Lichtstärke des ordentlichen Strahles in geometrischer Progression abnimmt, wenn die Dicke in arithmetischer wächst. Eine Turmalinplatte von einem Millimeter Dicke, wie man sie zu gebrauchen pflegt, macht schon den ordentlichen Strahl für die gewöhnlichen Beobachtungen unmerklich. Eine Turmalinzange enthält zwei Turmalinplatten, zwischen denen die zu untersuchende Krystallplatte eingeklemmt wird. Einer der Turmaline lässt sich in seiner Ebene drehen, damit man bei parallelen Achsen beider Turmaline oder bei hellem Gesichtsfelde und bei gekreuzten Achsen oder dunkelem Gesichtsfelde beobachten kann. Wir werden später sehen, dass der Gebrauch der Turmalinzange als Polarisationsapparat den Vortheil gewährt, sehr convergentes Licht anzuwenden und

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1814. P. I. p. 199.
2. Biot, *Traité.* Tome IV. 1816. p. 295.
3. Herschel, Vom Licht. S. 596.

eine jede Turmalinplatte überhaupt ein grosses Gesichtsfeld darbietet. Es geht aber ausser der Hälfte der Lichtstärke, die auf den verschluckten gewöhnlichen Strahl kommt, viel Licht verloren und man erhält natürlich nie die reinen Polarisationsfarben, da diese durch die eigene Farbe des Turmalins verändert werden.

§. 70. Dieser zweite Uebelstand beschränkt auch den Gebrauch des Jodchininpräparates, für welches HAIDINGER den Namen des Herapathits vorgeschlagen hat. Es kann schon in weit dünneren Blättern, als der Turmalin, zur Polarisation oder zur Analyse gebraucht werden. Die Hauptschwierigkeit besteht nur darin, irgend grössere Krystallblätter zu erhalten. HERAPATH[1] stellte die Verbindung dar, indem er 100 Grm. saueren schwefelsaueren Chinins in 3 Unzen Essigsäure und 2 Drachmen verdünnter (etwa 12 Gran trockener Säure enthaltender) Schwefelsäure bei 80° löste und eine Auflösung von 30 Gran Jod in 1150 Gran Weingeist nach und nach hinzufügte. Er hat noch später zwei Mal genauere Vorschriften gegeben, um zu grösseren Krystallen zu gelangen[2]. Diejenigen, die sich in der Folge mit den Darstellungen beschäftigten, kamen zu der Ueberzeugung, dass hier eine Reihe glücklicher Nebenbedingungen trotz aller Vorsicht mitwirken muss, wenn das Ziel erreicht werden soll. Herapathitplatten mit grösseren Oberflächen werden daher theuer bezahlt.

§. 71. Der Polarisationswinkel des Jodchininpräparates gleicht 49° nach HERAPATHS Angabe. Gehen wir hiervon aus, so finden wir 1,153 für den Brechungscoëfficienten des ordentlichen Strahles (§. 29). Blättchen von weniger als 0,002 engl. Zoll (nahezu 1/20 Mm.) Dicke polarisiren schon nach HERAPATH das Licht sehr vollständig. ZAMMINER[3] bemerkte übrigens das Gleiche an halb so dünnen Blättern. HERAPATH gibt ausserdem an, dass man auch noch depolarisirende Eigenschaften (§. 63) an seinem Präparate

1. LIEBIG und KOPPS Jahresbericht für 1852. Giessen 1853. S. 532.
2. POGG. Ann. Bd. XC. 1853. S. 616. DINGLERS politechnisches Journal Bd. CXXX. S. 279 und CXXXIV. S. 370.
3. ZAMMINER in Liebig und Kopps Jahresbericht a. a. O. S. 148.

bemerke. Hat man die Polarisationsebene der Herapathitplatte und des Zerlegers rechtwinkelig gekreuzt und daher Dunkelheit erhalten, so soll eine neue eingeschaltete Herapathitplatte eine grüne Farbe bei der Orientation + 45° und eine rothe bei — 45° darbieten. ZAMMINER konnte diese Eigenthümlichkeit nicht wahrnehmen und fand sie überhaupt im Widerspruche mit den übrigen Gesetzen der Doppelbrechung.

§. 72. Die Wirkung dünner mikroskopischer Herapathitblättchen ist so merkwürdig, dass man sie zu Demonstrationsgegenständen für physikalische Vorlesungen benutzen sollte. Herr FLÜCKIGER, der mehrere Proben des Jodchininpräparates darzustellen die Güte hatte, setzte mich in den Stand, einige Erfahrungen zu sammeln. Die Masse der kleinen Krystalle hat für das freie Auge die Farbe und den Schiller der spanischen Fliegen. Man bemerkt unter dem Mikroskope zwei Arten von Krystallblättchen. Beide erscheinen grün, wenn die Polarisationsebene des als Polarisator dienenden Blättchens und die des Zerlegers parallel stehen. Kreuzen sie sich aber rechtwinkelig, so haben manche eine weinrothe und andere eine dunkelgrüne bis schwarze Färbung. Jene sind vermuthlich die dünneren und diese die dickeren. Die weinrothe Farbe tritt noch oft an einzelnen Blättchen der zweiten Klasse da auf, wo andere Blättchen aufliegen und vermuthlich auch, wo eine Absplitterung Statt gefunden hat[1]. Die vollkommensten Blättchen besitzen die Form Fig. 14. Steht die Polarisationsebene des Zerlegers cd parallel, so hat man die grösste Helligkeit. Befindet sie sich in der Richtung ab, so tritt das Maximum der Dunkelheit auf. Viele über einander liegende Krystallstücke und einzelne Blättchen zeigen die weinrothe oder dunkele Färbung ohne Zerleger. Dreht man eine strahlige Anhäufung von Blättchen in ihrer Ebene, so kommt und schwindet die weinrothe Farbe mit den verschiedenen Azimuthstellungen.

Fig. 14.



1. Vgl. schon HAIDINGER in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. 1853. S. 256.

Man erhält diese am besten, wenn man eine gesättigte Weingeistlösung bei einer niedern Wärme langsam verdunsten lässt. Ich konnte z. B. ein Plättchen von weniger als 0,7 Mm. Länge und 0,2 Mm. Breite gebrauchen, um ein auffallend dunkeles Gesichtsfeld längs seiner Ausdehnung herzustellen und das Polarisationskreuz der Stärkmehlkörner auf ihm wahrzunehmen.

§. 73. BREWSTER[1] suchte den ordentlichen Strahl von Prismen, die aus Kalkspath, Achat und anderen einachsigen Körpern bestehen, durch Mattschleifen der auf seinem Wege liegenden Oberflächen zu beseitigen, indem dann das diffuse oder unregelmässig zerstreute Licht das Bild desselben undeutlich macht. Manche Optiker liefern als Zerleger sogenannte BREWSTERsche Prismen, in denen man den ordentlichen Strahl nur durch Schiefstellung und Abblendung für einzelne Fälle unkenntlich macht.

§. 74. Das NICOLsche Prisma oder Nicol entfernt den ordentlichen Strahl eines Kalkspathrhomboëders durch gänzliche Zurückwerfung, so dass nur der ausserordentliche durchtritt. Wir müssen uns aber die Verhältnisse der totalen Reflexion klar machen, um die Einrichtung dieser werthvollen und scharfsinnig erdachten polarisirenden Vorrichtung verstehen zu können.

§. 75. Das SNELLsche Brechungsgesetz lehrt, dass der Sinus des Brechungswinkels (r) dem Quotienten des Sinus des Einfallswinkels (i) und des Brechungsverhältnisses (n) gleicht $\left(\sin. r = \frac{\sin. i}{n}\right)$. Geht der Strahl aus einem optisch dünneren Mittel in ein optisch dichteres über, so ist das Brechungsverhältniss grösser als die Einheit. Da nun aber jeder Sinus die Einheit als grösstmöglichen Werth hat, so ist hier der dem Sinus des Ablenkungswinkels entsprechende Werth immer ein ächter Bruch, vorausgesetzt, dass nicht der Strahl senkrecht einfällt oder der Einfallswinkel der Null entspricht. Hieraus folgt, dass immer eine

---

1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1819. p. 146. Populäre Optik. Bd. I. S. 156.

Brechung des Strahles möglich bleibt und der Brechungswinkel stets kleiner, als der Einfallswinkel ist.

Geht umgekehrt der Strahl aus dem optisch dichteren in das dünnere Mittel über, so wird jetzt der Ablenkungscoëfficient zu dem ächten Bruche $\frac{1}{n}$, wenn er früher die die Einheit übertreffende Zahl n war. Man hat also den Quotienten zweier Brüche für den Werth des Sinus des Brechungswinkels. Nennen wir den Sinus des Einfallswinkels $\frac{a}{b}$, so wird der des Brechungswinkels $\frac{an}{b}$ sein. Lassen wir nun den Werth des Einfallswinkels von Null an stetig wachsen, so ist dieses eben so gut, als wenn der Zähler a des Sinuswerthes $\frac{a}{b}$ von Null an ohne Sprung zunähme. Ist im Anfange an kleiner als b, so bleibt ein Brechungswinkel möglich, weil der Sinus desselben ein ächter Bruch ist. Wird bei fernerem Wachsthume von a der Werth an gleich b, so beträgt der Brechungswinkel einen Rechten. Man nennt diese Grösse die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung, weil jedes fernere unendlich kleine Wachsthum des Einfallswinkels den gebrochenen Strahl, dessen Sinus sonst die Einheit überschreiten müsste, unmöglich macht.

Ein Strahl, der die Grenzfläche zweier optisch verschieden dichter Mittel berührt, wird im allgemeinsten Falle zum Theil zurückgeworfen und zum Theil gebrochen. Ist aber der Brechungswinkel unmöglich, so bleibt scheinbar die Zurückwerfung allein übrig. Diese gewöhnliche Erklärungsweise der totalen Reflexion entspricht nicht den Forderungen der Wellenlehre, welche jene Erscheinung anderweitig deutet und erläutert. Es ergibt sich aber aus dem eben Dargestellten, dass die gänzliche Zurückwerfung nur dann eintreten kann, wenn der Strahl aus einem dichteren in ein dünneres Mittel übergehen soll und sich erst unter der Bedingung zeigt, dass der Einfallswinkel grösser als der ist, welcher der Grenze der gänzlichen Zurückwerfung entspricht. Der Winkelwerth für die zweite Bedingung wechselt aber mit dem Brechungsverhältnisse, das man immer durch die für den Uebergang

aus einem optisch dünneren in ein dichteres Mittel geltende Zahl ausdrückt (also durch n, selbst wenn sein anzuwendender Werth $\frac{1}{n}$ ist).

§. 76. Da die beiden Strahlen eines doppelt brechenden Körpers ungleiche Brechungscoëfficienten besitzen, so liefern sie auch verschiedene Werthe für die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung. Denken wir uns nun, ein Körper, dessen Brechungsverhältniss kleiner als das des ordentlichen und grösser als das des ausserordentlichen Strahles eines negativ einachsigen Körpers ist, bilde das neue Uebergangsmittel aus diesem, so ist die gänzliche Zurückwerfung nur für den ordentlichen Strahl möglich. Sie kann aber erst bei einer gewissen Neigung dieses Strahles oder einer bestimmten Grösse des Einfallswinkels auftreten. Da die rothen Strahlen am wenigsten und die violetten am meisten abgelenkt werden, also n für jene kleiner, als für diese ist, so wird die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung für die letzteren früher, als für die ersteren eintreten.

§. 77. NICOL wandte dieses auf den Kalkspath und den Canadabalsam an. Die dem Orte D entsprechende Stelle des Farbenspectrums, die zwischen Orange und Gelb liegt, hat nach RUDBERG als Brechungscoëfficienten des ausserordentlichen Strahles des Kalkspathes (bei gewöhnlicher Temperatur) 1,48635 und des ordentlichen 1,65850. Der Canadabalsam besitzt in dieser Hinsicht 1,528 nach WOLLASTON, 1,532 nach YOUNG und 1,549 nach BREWSTER[1]. Sein Ablenkungsverhältniss liegt also jedenfalls zwischen den Werthen des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles des Kalkspathes. Denken wir uns zwei passend geschnittene Kalkspathprismen $abed$ und $bcfe$ Fig. 15 durch eine Schicht von Canadabalsam be zusammengekittet, so liefert ein Strahl gewöhnlichen Lichtes gn, der das erste Prisma durchsetzt, einen ordentlichen Strahl nk und einen ausserordentlichen nh. Da aber der Canadabalsam ein dünneres Mittel für den ordentlichen und

1. Siehe z. B. BEER, Höhere Optik S. 286 und 421.

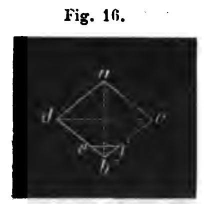
ein dichteres für den ausserordentlichen Strahl des Kalkspathes bildet, so kann höchstens der erstere gänzlich zurückgeworfen werden. Geschieht dieses durch die Reflexion *km* nach der Seitenwand *cf*, deren schwarzer Ueberzug ihn dann gänzlich verschluckt, so bleibt es ferner möglich, dass der ausserordentliche Strahl *nh* das zweite Prisma *abed* ohne doppelte Brechung durchsetzt. Das NICOLsche Prisma ist nun so geschnitten, dass alle für diese Voraussetzungen nöthigen Bedingungen innerhalb gewisser Grenzen des Einfallswinkels erfüllt werden. Es liefert also einen einzigen ausserordentlichen Strahl *pi*, wie der Turmalin, hat aber vor diesem die wesentlichen Vorzüge grösserer Lichtstärke und fast gänzlicher Farblosigkeit voraus.

Fig. 15.



§. 78. Das Nicol bildet ein Prisma mit vier ebenen senkrechten, aussen geschwärzten Seitenflächen und zwei durchsichtigen, schief abfallenden, parallel geschliffenen Endflächen, von denen jede einem Parallelogramme von der Gestalt *acbd* Fig. 16 (abgesehen von dem abfallenden Stücke *efb*) entspricht. *a* und *b* bezeichnet hier dieselbe Richtung, wie in *abc* Fig. 15. Ist *a* der höchste und *b* der niederste Punkt der Endfläche, so wollen wir *ab* die kürzere und *cd*, welche die beiden gleich hoch gelegenen Endpunkte der Grenzfläche verbindet, die längere Diagonale nennen. Der Durchschnitt *abcfed* Fig. 15 entspricht dann dem Hauptschnitte des Kalkspathrhomboëders, aus dem man das Nicol verfertigt hat. Die künstliche Trennungsfläche *be*, an der die beiden Hälften durch Canadabalsam zusammengefügt sind, steht auf dem Hauptschnitte senkrecht. Dasselbe wiederholt sich annähernd für die Neigung der künstlich hergestellten schiefen Endfläche zur Schnittfläche. Der Winkel beider soll 89° 17′ betragen, so dass man ihn einem Rechten ohne grossen Fehler gleichstellen kann. Die natürliche Endfläche des Kalkspathrhomboëders bildet einen Winkel von 70° 52′ mit der

Fig. 16.



Seitenkante *ad* Fig. 15. Die bei der Anfertigung des Nicol angeschliffene Fläche *ab* dagegen soll gegen sie unter 68° geneigt sein.

Fällt ein Strahl *gn* Fig. 17 gewöhnlichen Lichtes auf die eine Endfläche *def* des Nicols, also schief zur optischen Achse

Fig. 17.



ein, so spaltet er sich in den ordentlichen Strahl *nk*, der in dem Hauptschnitte *abcfed* und den ausserordentlichen *nh*, der senkrecht auf den Hauptschnitt polarisirt ist. Der erstere wird durch den Canadabalsam *be* unter den bald zu erwähnenden Bedingungen in *km* gänzlich zurückgeworfen und an der geschwärzten Seitenwand *cf* verschluckt. Da der ausserordentliche Strahl senkrecht auf den Hauptschnitt nicht bloss des ersten, sondern auch des zweiten Prismenstückes polarisirt ist, so ändert sich sein Polarisationszustand bei dem Durchgange nicht (§. 57). Der allein hervortretende ausserordentliche Strahl ist also senkrecht auf dem Hauptschnitte *abcfed* polarisirt. Man nennt seine Polarisationsebene die Polarisationsebene des Nicols.

Fig. 18.

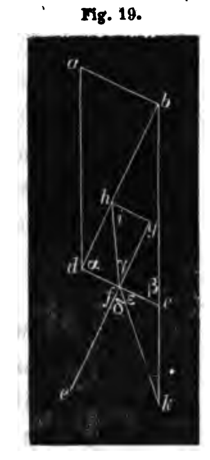


Da die Diagonale des Hauptschnittes *ab* Fig. 18 die kürzere und die auf ihr rechtwinkelige *cd* die längere ist, so bestimmt die letztere jene Polarisationsebene. Hat man einen Plattensatz als Polarisator, so liegt hier die Polarisationsebene in der Richtung der Einfallsebene. Man muss in der That die längere Diagonale des zur Zerlegung dienenden Nicols der Einfalls- oder der Brechungsebene parallel stellen, wenn man hell, und sie zu dieser senkrecht richten, wenn man dunkel haben will.

§. 79. Eine einfache Betrachtung kann uns zur Bestimmung der Grenze der gänzlichen Zurückwerfung im Nicol führen. *abcd* Fig. 19 sei wiederum der dem Hauptschnitte entsprechende Längsschnitt. Wir setzen der Kürze wegen $\alpha = 90^0$ (§. 78) und $\beta = 68^0$. Ziehen wir *efg* parallel *db* und *gh* parallel *cd*, so bildet *eg* das

Einfallsloth für die schiefe Endfläche *cd* und *gh* das für die Balsamschicht *bd*. Ist *kf* der aus der Luft in das Nicol tretende Strahl und *fh* der ordentliche Strahl, wie er in der unteren Hälfte des Nicol dahingeht, so stellt δ den ersten und i den zweiten Einfallswinkel dar. Das SNELLsche Gesetz gibt $\frac{\sin. i}{\sin. r} = \frac{n'}{n}$, wenn wir i den Einfallswinkel des ordentlichen Strahles *fh* in die Balsamschicht *bd*, n den Brechungscoëfficienten des ersteren im Kalkspathe, n' den des Canadabalsams und r den Brechungswinkel nennen. Da $\sin. r$ an der Grenze der gänzlichen Zurückwerfung der Einheit gleicht (§. 75), so erhält man für diese $\sin. i = \frac{n'}{n}$. Macht man $n =$ 1,6585 und $n' = 1{,}549$ (§. 77), so ergibt sich 69° 4′ für den Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung. Setzt man $n' = 1{,}528$, so kommt 67° 7′.

Fig. 19.



§. 80. Das SNELLsche Gesetz gibt $\sin. \delta = n \sin. \gamma$. Nun ist $\delta + \varepsilon = \gamma + i = 90°$. Man hat also auch $\cos. \varepsilon = n \cos. i$. Setzen wir $i = 69°\ 4'$, so finden wir $\varepsilon = 53°\ 40'$. Der Werth $i = 67°\ 7'$ liefert $\varepsilon = 49°\ 50'$. Der Winkel ε bestimmt aber die Neigung des in das Nicol eintretenden Strahles *kf* gegen die schiefe Endfläche *cd*. Denkt man sich die der Achse des Nicols parallele Linie *bc* so weit verlängert, bis sie die Richtung des Strahles *fk* schneidet, so erhält man ein Dreieck, für das β den äusseren Winkel bildet. Nennen wir den Winkel des Strahles *fk* mit der Achsenrichtung ζ, so haben wir $\zeta = \beta - \varepsilon$. Da aber $\beta = 68°$, so erhalten wir $\zeta = 14°\ 20'$ für $\varepsilon = 53°\ 40'$ und $\zeta = 18°\ 10'$ für $\varepsilon = 49°\ 50'$, d. h. die gänzliche Zurückwerfung des ordentlichen Strahles hört auf, wenn die Divergenz der in das Nicol einfallenden Strahlen einen grösseren Winkel als 14° 20′ oder 18° 10′ nach der Seite von *d* hin bildet. Es gehen dann beide Strahlen durch den zweiten Theil des Nicol. Die Berechnung der nach der anderen Seite gerichteten Hälfte liefert einen nicht sehr abweichenden Werth. Wir sehen hieraus, dass die das Nicol von einem Punkte aus treffenden Strahlen keinen grös-

seren Divergenzwinkel als 14° 1/3 bis 18° 1/6 mit der Achse haben dürfen, wenn nur der ausserordentliche Strahl an der anderen Endfläche des Prisma austreten, wenn also die eigenthümliche, von der eines gewöhnlichen Kalkspathprisma abweichende Wirkung zum Vorschein kommen soll. Radicke[1] berechnete 14° 21′ für die eine Seitenhälfte und nimmt 13 für die zweite an. Man findet desshalb auch fast allgemein angegeben, dass das Nicol ein passendes Gesichtsfeld von 27° bis 28° darbiete.

Diese theoretischen Bestimmungen lassen sich übrigens in der Erfahrung prüfen. Hält man ein Nicol wagerecht vor dem Auge, so dass die längere Diagonale (§. 77) senkrecht steht und dreht es dann wagerecht nach der einen und hierauf nach der anderen Seite, so erblickt man eine Reihe gesonderter senkrechter Interferenzstreifen, von denen die innersten röthlich und orange bis gelb gefärbt sind, an der einen Seite. Die andere dagegen gibt grüne und blaue Grenzbänder bei der zweiten Wendung des Nicol. Da die blauen und violetten Strahlen ihre gänzliche Zurückwerfung früher, als die rothen und die gelben erleiden (§. 76), so treten die letzteren von dem gewöhnlichen Strahle schon durch, wenn die blauen noch ausbleiben. Radicke[2] sucht die blauen Bänder an der entgegengesetzten Seite aus der für die verschiedenen Farben ungleichen gänzlichen Zurückwerfung des ausserordentlichen Strahles zu erklären. Billet[3] liess die gefärbten Grenzbänder mit den Graden einer in der Ferne befindlichen Scala bei dem Durchsehen zusammenfallen und fand auf diese Art durch die spätere trigonometrische Berechnung einen Winkel von 34° 8′. Die Hälfte oder 17° 4′ liegt also noch innerhalb der Werthe 14° 20′ und 18° 10′, die wir oben für die verschiedenen Sorten des Canadabalsams gefunden haben. Nur grosse Prismen liefern übrigens eine hinreichende Erhellung der Seitentheile des Gesichtsfeldes. Sie sind sehr theuer, weil, wie wir bald (§. 82) sehen werden, die Länge derselben 2,9 Mal so viel als die lange Diagonale der Endfläche betragen muss.

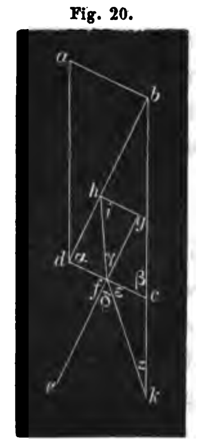
---

1. Radicke, Handbuch der Optik. Bd. II. S. 370. 372.
2. Radicke, Ebendaselbst S. 371. 372.
3. Billet, *Traité d'Optique physique.* Paris 1858. 8. Tome I. p. 331.

§. 81. Viele, vorzüglich grössere Nicol zeigen noch ein ordentliches neben dem ausserordentlichen Gesichtsfelde, also ein helles neben einem dunkelen bei gekreuzten Polarisationsebenen. Der Fehler rührt davon her, dass der Canadabalsam an einer Stelle, an der die Strahlen durchtreten, lückenhaft geworden. Er kann für mikroskopische Untersuchungen insofern von Nutzen sein, als man sich oft bei dem Aufsuchen der Gegenstände nach dem seitlichen hellen Gesichtsfelde leichter orientirt, als nach dem anderen, das zwar grösser, aber dunkel ist.

§. 82. Radicke[1] berechnete schon, dass ein Nicol, für das man Copaivabalsam ($n=1,507$ bis $1,528$) statt des Canadabalsams nehmen würde, kürzer sein, dafür aber ein um 5^0 bis 6^0 kleineres passendes Gesichtsfeld darbieten würde. Foucault[2] opferte einen grossen Theil des letzteren zu Gunsten der geringeren Länge, als er den Canadabalsam durch atmosphärische Luft ersetzte. Nehmen wir wiederum den Brechungscoëfficienten des ordentlichen Strahles des Kalkspathes zu 1,6585 und den der Atmosphäre zu 1 an, so finden wir, dass hier die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung schon bei $i=37^0\,5'$ oder um 30^0 bis 32^0 früher als bei dem Nicol (§. 79) eintritt. Die Neigung der Schnittfläche zur Endfläche kann geringer ausfallen. Man hat hier $\alpha=51^0$ und $\beta=70^0\,52'$ oder die natürliche Neigung (§. 77). Setzt man nun $cd=1$, so erhält man $bc=\frac{\sin.\,\alpha}{\sin.\,(\alpha+\beta)}$ $=0,915$. Bei dem Nicol war $\alpha=89^0\,17'$ und daher $bc=2,945$. Das Foucaultsche Prisma ist daher verhältnissmässig 3,2 Mal so kurz als das Nicol. Man braucht desshalb für jenes kleinere Kalkspathkrystalle und kann es aus diesem Grunde billiger herstellen, als dieses. Da hier das Einfallsloth eg der Luftschicht db nicht parallel ist, so müssen

Fig. 20.



1. Radicke a. a. O. S. 373.
2. Foucault, Pogg. Ann. Bd. CII. 1857. S. 642. 43.

wir den Werth von ε nach der allgemeineren leicht herzuleitenden Gleichung cos. $\varepsilon = n$. sin. $(\alpha - i)$ bestimmen. Wir finden dann $\varepsilon = 66^0\ 29'$. Das halbe der abfallenden Fläche entsprechende Gesichtsfeld ist daher $\zeta = 4^0\ 23'$. Foucault[1] selbst gibt 8^0 für das ganze Sehfeld seines Prisma an. Dieses hat daher nur ungefähr den vierten Theil des brauchbaren Gesichtsfeldes des Nicol[2].

§. 83. Jeder der zwei Strahlen, in die sich ein Strahl gewöhnlichen Lichtes durch Doppelbrechung spaltet, hat theoretisch genommen die halbe Lichtstärke des einfallenden. Benutzt man also nur den ausserordentlichen bei dem Gebrauche eines Turmalins, Herapathits, Nicols oder Foucaults, so geht schon hierdurch die Hälfte der ursprünglichen Lichtstärke verloren. Die Absorption verzehrt überdiess eine gewisse Lichtmenge in den beiden ersteren Körpern und vorzugsweise die Zurückwerfung an der aufnehmenden Spiegelfläche in den zwei zuletzt genannten Prismen. Man muss daher immer auf merklich weniger als die Hälfte der ursprünglichen Lichtstärke rechnen, wenn man jene doppelt brechenden Massen zur Polarisation oder zur Zerlegung gebraucht. Da man entweder nur den zurückgeworfenen oder nur den gebrochenen Strahl bei Glasplatten oder Plattensätzen unmittelbar benutzen kann, so ginge auch hier schon die halbe Lichtstärke verloren, wenn selbst die günstigsten bei der Natur der Polarisationserscheinungen nie vorhandenen Bedingungen aufträten.

§. 84. Arago[3] bemerkte zuerst eine Eigenthümlichkeit, durch die sich der Bergkrystall von anderen einachsigen Körpern unterscheidet. Leitet man geradlinigt polarisirtes Licht durch eine senkrecht auf die optische Achse geschnittene Quarzplatte in senkrechter Richtung und untersucht sie mit einem achromatisirten Kalkspathprisma (§. 64), so zeigen die beiden Bilder Ergänzungsfarben, die

1. Foucault, Ebendaselbst S. 613.

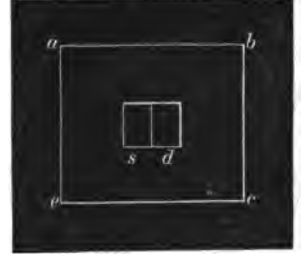
2. Ueber die Abweichungen der hier an der Grenze der gänzlichen Zurückwerfung vorkommenden Farbenbänder von denen des Nicol siehe Billet a. a. O. Tome I. p. 332.

3. Biot, *Traité* Tome IV. 1816. p. 499. Billet a. a. O. Tome II. p. 257.

mit der Wendung des Prisma um die Richtung des durchgehenden Strahles als senkrechte Achse wechseln. Biot[1], der den Gegenstand aufnahm, entdeckte dabei, dass der Quarz die Fähigkeit besitzt, die Polarisationsebene zu drehen. Steht die des Polarisators auf 90° und die des Analysators auf 0° und hat man ein rothes Ueberfangglas (§. 167), um mit einfarbigem Lichte zu arbeiten, eingeschaltet, so wird das dunkele Gesichtsfeld hell, so wie man z. B. eine Quarzplatte von 3,75 Mm. dazwischen schiebt. Man muss z. B. den Analysator um 65° 36′ nach der rechten oder der linken Seite drehen, um das dunkele Gesichtsfeld herzustellen. Die Wirkung des Quarzes ist also die gleiche, als wäre die Polarisationsebene des Polarisators in gleicher Richtung weiter gedreht worden und als müsste desshalb der Analysator nachkommen. Man nennt daher die Erscheinung die Drehung oder die Rotation der Polarisationsebene oder auch aus Gründen, die wir sogleich kennen lernen werden, die Kreis- oder Circularpolarisation. Muss man den Analysator in einer Richtung nachdrehen, die dem Gange eines Uhrzeigers entspricht, so heisst der Quarz rechts- und im entgegengesetzten Falle linksdrehend.

§. 85. Dieser Unterschied bestimmt auch den Gang der Farben, der sich bei der Drehung des Analysators und dem Gebrauche weissen Lichtes zeigt. Wir werden später einen Apparat kennen lernen, den man Biquarz oder Doppelquarz nennt und der aus zwei neben einander gekitteten senkrecht auf die optische Achse geschnittenen Quarzplatten, einer rechts- und einer linksdrehenden, *d* und *s* Fig. 21, von z. B. 3,75 Mm. Dicke besteht. Schiebt man einen solchen in das dunkele Gesichtsfeld eines Polarisationsapparates, so geben zuerst beide Quarzfelder ein ziemlich gleiches grünlich Gelb. Dreht man hierauf den Analysator

Fig. 21.



1. Biot, *Mém. de l'Institut. Année* 1817. Paris 1819. 4. p. 58. Vgl. *Annales de Chimie. Troisième Série.* Tome X. 1844. p. 5. 175. 385 und Tome XI. p. 54.

von Null aus nach Rechts, so erhält man der Reihe nach Grün, Mattblau, gesättigt Blau, Violettblau, Roth, Orange, Gelb und grünlich Gelb in dem Felde der rechtsdrehenden und Gelb, Orange, Roth, Violettblau, gesättigt Blau; Mattblau und grünlich Gelb in dem der links drehenden Quarzplatte. Die Farben steigen also zuerst in der Spectralreihe bei einer der Drehung der Quarzplatte entsprechenden Drehung des Zerlegers und sinken, wenn diese jener entgegengesetzt ist. Die Erscheinung erklärt sich durch die auch sonst bestätigte Thatsache, dass die verschiedenen Farben ungleiche Drehungswinkel haben und zwar Roth den kleinsten und Violett den grössten. Dreht man also den Zerleger in dem Sinne des Quarzes, so werden die einzelnen Farben in aufsteigender Reihe ausgelöscht und es bleiben zuerst Reste, die ebenfalls aufsteigen, aus dem weissen Lichte übrig, bis das Violett erreicht worden und dann wieder die Fortsetzung mit dem Roth als dem Anfange des Spectrum beginnt. Die der Quarzdrehung entgegengesetzte Drehung wird natürlich den umgekehrten Erfolg nach sich ziehen. Beide Drehungsscalen treffen aber in dem Violettblau so zusammen, dass die zwei Quarzfelder diese gleiche Farbe in den hier zum Grunde gelegten Quarzplatten nach einer Wendung des Zerlegers von 90° oder bei rechtwinkeliger Kreuzung beider Polarisationsebenen darbieten. Man nennt jenes Violettblau, das auch für mikroskopische Beobachtungen von Bedeutung ist, die neutrale, die empfindliche oder die Uebergangsfarbe.

§. 86. FRESNEL[1] führte zuerst die im Bergkrystalle vorkommende Drehung der Polarisationsebene auf Erscheinungen der Kreis- oder Circularpolarisation zurück. Man kann sich den geradlinigt polarisirten Strahl, den man der Bergkrystallplatte zuführt, in einen rechts und einen links kreisförmig polarisirten, *ab* und *cd* Fig. 22, die beide die gleiche Phase haben, zerlegt denken. Die Strahlen, die in anderen einachsigen Krystallen längs der Achse dahingehen, bewegen sich mit der gleichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Besitzt aber der Bergkrystall aus den bald zu

1. FRESNEL, Pogg. Ann. Bd. XXI. 1831. S. 276—90.

erwähnenden Gründen die Eigenschaft, links kreisförmig polarisirtes Licht, das längs seiner Achse *ef* dahingeht, schneller, als rechts kreisförmig polarisirtes durchtreten zu lassen oder umgekehrt, so wird sich desswegen der einfallende linear polarisirte Strahl in zwei solche Strahlen zerlegen. Der Unterschied der Fortpflanzungsgeschwindigkeit beider bedingt einen Gangunterschied, der natürlich um so mehr wächst, je länger der Weg, mithin je dicker die Quarzplatte ist. Die zwei entgegengesetzt kreisförmig polarisirten Strahlen setzen sich aber bei ihrem Austritte an der auf der optischen Achse senkrechten Fläche zu einem linear polarisirten Strahle zusammen, dessen Polarisationsebene nicht mehr mit der des zugeleiteten polarisirten Strahles übereinstimmt, sondern um einen Winkel gedreht ist, dessen Grösse von dem Gangunterschiede der beiden Strahlen abhängt und ihrer halben Phasendifferenz entspricht, der also mit der Weglänge oder der Dicke der Platte wächst. Die proportionelle Zunahme beider ist durch die Beobachtung dargethan worden. FRESNEL[1] gab zum Beweise seiner Hypothese ein Parallelepiped an, das aus einem mittleren und zwei angefügten, diesem entgegengesetzt drehenden oder nur aus zwei Prismen besteht. Ein senkrecht auffallender Strahl liefert bei dem Austritt zwei entgegengesetzt circular polarisirte Bilder[2].

Fig. 22.



§. 87. AIRY[3], der später eine ausführliche Theorie der an solchen Bergkrystallplatten wahrzunehmenden Polarisationserscheinungen gegeben hat, ging dabei von der Annahme aus, dass hier die beiden durch die Doppelbrechung erzeugten Strahlen aus elliptisch polarisirtem Lichte bestehen. Die grosse Achse der Ellipse des gewöhnlichen Strahles steht senkrecht zu dem Hauptschnitt

1. FRESNEL, Pogg. Ann. Bd. XXI. 1831. S. 278.

2. Siehe z. B. das Nähere bei RADICKE a. a. O. Bd. I. S. 201. BILLET a. a. O. Tome II. p. 9—11.

3. AIRY, Pogg. Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 204—280, besonders S. 208.

und die des ungewöhnlichen liegt in ihm. Ist der gewöhnliche Strahl rechts elliptisch polarisirt, so erscheint der ungewöhnliche links elliptisch polarisirt und umgekehrt. Die zwei Achsen der Ellipse werden gleich, die letztere also zum Kreise, wenn der Strahl in der Richtung der Krystallachse oder der optischen Achse dahingeht. Je mehr aber beide geneigt sind, um so mehr streckt sich die Ellipse. Man kann daher das Licht sehr schief durchgehender Strahlen als geradlinigt polarisirt ansehen. CAUCHY[1] fand zwar durch seine theoretischen Betrachtungen, dass der in der Achse dahingehende Strahl ebenfalls elliptisch polarisirt sei. Der Unterschied von Kreispolarisation ist jedoch sehr unbedeutend.

§. 88. BIOT[2] entdeckte später, dass viele Flüssigkeiten die Eigenschaft der Kreispolarisation besitzen. Citronenöl, Bergamottöl, einzelne Sorten von Terpentinöl, Weingeist, Schwefeläther, wässrige Lösungen von Dextrin, reinem Rohrzucker, Rohrzuckersyrup, die Zuckersäfte der Runkelrübe und der Eibischwurzel, die wässrige oder die weingeistige Lösung des früher fest gewesenen Traubenzuckers, die Wasserlösung des Stärkezuckers, des Candiszuckers, des krystallisirten Milchzuckers, des krystallisirten Honigzuckers, der Cholalsäure und des Cinchonins drehen die Polarisationsebene nach rechts und Terpentinöl, Anisöl, Kirschwasser, wässrige Lösungen von Senegal-, von arabischem Gummi, des Inulins, des Traubenzuckers, der früher noch nicht fest geworden, Traubenzuckersyrup, wässrige Lösungen des unkrystallisirbaren Honigzuckers, des Eiweisses, der leimgebenden Massen, Lösungen des Brucins, Strychnins und meist des Nicotins, so wie des Cholesterins nach links[3]. Während eine Auflösung von Chinin stark nach links wendet, dreht eine solche von Chinidin kräftig und eine von Chinicin schwach nach rechts, und die Isomeren Cinchonin,

1. RADICKE, Bandbuch Bd. I. S. 204.

2. BIOT, *Mém. de l'Institut. Année* 1817. Paris 1818. p. 91—114. *Ann. de Chim.* 1819. Tome X. p. 63—87. Tome LII. 1833. p. 58—72.

3. BIOT, *Mém. de l'Institut.* Tome XIII. Paris 1835. p. 160—170. 437—496. BOUCHARDAT, *Ann. de Chim. Trois. Série.* Tome IX. 1843. p. 216—220. HOPPE in Virchows Arch. f. path. Anat. Bd. XI. S. 547. Bd. XII. S. 480.

Cinchonidin und Cinchonicin zeigen ein ähnliches entgegengesetztes Verhalten[1]. Manche Körper, wie die Weinsäure, bieten eine rechts- und eine linksdrehende Art dar und die Traubensäure lässt sich in diese beiden Arten von Weinsäure künstlich zerlegen[2]. Die gleichzeitige Anwesenheit zweier solcher entgegengesetzt wendender Körper gleicht sich natürlich so aus, dass eine einseitige kleinere Drehung im Sinne der vorherrschenden Wirkung oder selbst eine Nullresultante zum Vorschein kommt.

§. 89. Während man früher den Quarz für den einzigen festen Körper hielt, der kreispolarisirende Eigenschaften darbietet, entdeckte später MARBACH[3] die Drehung der Polarisationsebene in manchen nach dem regelmässigen Systeme krystallisirenden Körpern, wie z. B. dem chlor- oder bromsaueren Natron, die also der allgemeinen Regel zu Folge einfach brechen sollten (§. 92) und DES CLOIZEAUX[4] in Krystallen des Zinnobers und des schwefelsaueren Strychnins. Man hat dabei ein rechts- und ein linksdrehendes chlorsaueres Natron[5], ähnlich also den beiden Arten des Quarzes. Da BREWSTER[6] bemerkt hatte, dass der geschmolzene und HERSCHEL[7], dass der durch Kali gelöste Quarz keine Kreispolarisation zeigt und diese z. B. in dem krystallisirten Rohrzucker nicht bemerkt wird, so schloss man, dass drehende feste Körper diese Fähigkeit durch den Uebergang in den flüssigen Zustand und gelöste durch den in den festen Zustand verlieren. Es war aber schon möglich, dass nur die zweiachsige Beschaffenheit des Zuckers die Erkenntniss der Kreispolarisation in den Hintergrund drängt. Die neueren Erfahrungen haben die Unrichtigkeit jenes Schlusses unmittelbar bewiesen. MARBACH[8] fand, dass nicht bloss das feste, sondern auch das aufgelöste chlorsauere Natron die Po-

1. PASTEUR, Pogg. Ann. Bd. XC. 1853. S. 498—503.
2. PASTEUR, Ebendaselbst S. 505.
3. MARBACH, Pogg. Ann. Bd. XCI. 1854. S. 482—87. Bd. XCIV. S. 412—26.
4. DES CLOIZEAUX, *Ann. des Mines.* Tome XI. 1857. p. 339.
5. MARBACH, Pogg. Ann. Bd. XCI. 1854. S. 481.
6. BREWSTER, Populäre Optik. Bd. II. S. 16. 17.
7. HERSCHEL, Vom Licht. S. 585.
8. MARBACH, Pogg. Ann. Bd. XCI. 1854. S. 487. Bd. XCIX. 1856. S. 456.

larisationsebene dreht und DES CLOIZEAUX[1] entdeckte das Gleiche in dem schwefelsaueren Strychnin.

§. 90. Da der Drehungswinkel mit der Weglänge der Strahlen wächst (§. 86), so nimmt er mit der Dicke einer drehenden Platte oder der Säulenhöhe einer Flüssigkeit zu. Ist die Platte so dick, dass der Drehungswinkel 180° beträgt, so wird die Drehung verdeckt. Das Gesichtsfeld bleibt dunkel. Befindet sich ein Körper in einem nicht drehenden Mittel, wie Wasser aufgelöst, so wächst der Drehungswinkel natürlich mit der Concentration der Flüssigkeit. Wollte man nach der Tabelle, die BIOT[2] für den Candiszucker gegeben hat, urtheilen, so wären der Procentgehalt und die Grösse des Drehungsbogens keinesweges genau proportional. Da sich Weingeist und Aether in dieser Hinsicht nicht indifferent verhalten, so kann bei ihnen der Drehungswinkel nicht bloss von der aufgelösten Menge des vorzugsweise drehenden Körpers abhängen.

BIOT nahm zuerst eine auf die optische Achse senkrecht geschnittene Quarzplatte von einem Millimeter Dicke als Einheitsmaass für die Grösse der Drehung, die mit den Farben wechselt. Die Frauenhoferschen Linien des Spectrums wurden noch nicht allgemein zu Anhaltspunkten der einzelnen Farbenbestimmungen benutzt, als BIOT[3] die hierher gehörenden Untersuchungen anstellte. Die Angaben der einzelnen Farben fielen daher unbestimmter aus, als sie später BROCH gegeben hat, und beziehen sich auf die Nüancen, welche die Einschaltung gefärbter Gläser hervorrufen und hieraus entnommene theoretische Berechnungen. Eine einen Millimeter dicke Quarzplatte liefert hiernach einen Drehungswinkel von 17°,496 für Roth, 20°,480 für die Grenze von Roth und Orange, 22°,314 für die von Orange und Gelb, 25°,675 für die von Gelb und Grün, 30°,046 für die von Grün und Hellblau, 34°,572 für die von Hellblau und Dunkelblau, 37°,683 für

1. DES CLOIZEAUX a. a. O. p. 339. Vgl. übrigens schon BIOT, *Ann. de Chim.* 1844. Tome X. p. 185–96.

2. BIOT, *Ann. de Chimie.* Tome LII. p. 61.

3. BIOT, *Mém. de l'Institut. Année* 1817. Tome II. Paris 1819. 4. p. 58.

die von Dunkelblau und Violett, endlich 44°,083 für das äusserste Violett. Die §. 85 erwähnte Doppelquarzplatte von 3,75 Mm. Dicke hat daher einen Drehungswinkel von 65°61 für die rothe Farbe eines mit Kupferoxydul gefärbten Rubinglases. BROCH[1] berechnete später als Mittel von 18 Einzelbeobachtungen für 1 Mm. Dicke und die Linie *B* des Spectrums 15°30, für *C* 17°24, für *D* 21°67, für *E* 27°46, für *F* 32°50 und für *G* 42°20.

§. 91. Besteht eine Lösung aus einem in gelöstem Zustande drehenden festen Körper und einer indifferenten Flüssigkeit, so wird natürlich die Drehung kleiner ausfallen, als in dem festen Körper allein. Der tropfbar flüssige Zustand setzt sie aber auch an und für sich herab, so dass sie für Oele und andere keine Lösung darstellenden Flüssigkeiten geringer ausfällt. Eine längere Säulenhöhe entspricht daher erst einer Dicke von einem Millimeter der Quarzplatte. Eine 16 Centimeter hohe Säule z. B. einer 5% Lösung von Candiszucker besitzt nach BIOT einen Drehungswinkel von 4° 31′ für Roth. Dieses gibt theoretisch genommen eine Ablenkung von 0°,028 für ein Millimeter Säulenhöhe oder beinahe 625 Mal weniger als für den Quarz[2]. Das gelöste Dextrin liefert nach BIOT den grössten Drehungsbogen unter allen Flüssigkeiten. Sein Werth ist drei Mal so gross als der des Rohrzuckers. Das Drehungsvermögen des Harnzuckers aus dem Urine Harnruhrkranker, des Traubenzuckers, des Stärke- und des Gummizuckers verhält sich nach DUBOSCQ[3] zu dem des krystallisirbaren Zuckers wie 73:100.

§. 92. Die ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden circular oder elliptisch polarisirten Strahlen (§. 86. 87.) lässt erwarten, dass eine seitlich unsymmetrische Vertheilung der Mole-

---

1. BROCH, in Doves Repertorium der Physik. Bd. VII. Berlin 1845. S. 115.

2. Eine genauere Messungsmethode für Flüssigkeiten siehe bei ARNDTS *Ann. de Chimie. Trois. Série.* Tome XLIV. 1858. p. 403. Pogg. Ann. Bd. CV. 1858. S. 312.

3. *Duboscq Pratique du Saccharimétre Soleil modifié par* J. DUBOSCQ. Paris 1860. 8. p. 16. BILLET a. a. O. Tome II. p. 296.

cüle in den drehenden Körpern vorhanden ist. Eine Entdeckung von HERSCHEL[1] wies diese schon für den Quarz nach, ehe sich die Wellenlehre allgemeine Anerkennung erkämpft hatte. Man kann hier nämlich nach der einseitigen Richtung der von HAUY sogenannten Plagiëderflächen in Bezug auf die Achsen und Kanten der Urgestalt, oder nach der Art, wie die Trapezflächen herumliegen, entscheiden, ob der Quarz rechts oder links dreht. Die von NAUMANN sogenannte Enantiomorphie[2] findet sich auch nach PASTEUR[3] und MARBACH[4] in den anderen drehenden Krystallen. Dieses erklärt zugleich das Vorkommen der Erscheinung in Krystallen des tesseralen Systemes (§. 89). Wie BIOT und PASTEUR die Asymmetrie der Molecüle als allgemeine Bedingung für feste Körper aufstellten, so dehnte dieses BRIOT[5] theoretisch auf alle drehenden Lösungen aus. HERSCHEL machte jedoch schon aufmerksam, dass die seltenen mit plagiëdrischen und unsymmetrischen Seiten versehenen Formen des Apathits keine drehenden Eigenschaften verrathen.

§. 93. Wir haben bis jetzt nur die Krystalle als die vorzüglichsten doppelt brechenden Körper behandelt. Einfach brechende Massen können aber, wie man sich ausdrückt, durch Spannung d. h. durch ungleiche Vertheilung des inneren Druckes nach verschiedenen Seiten des Raumes doppelt brechend werden. Man ist nach der Darstellung der physikalischen Lehrbücher gewohnt, diese zweite Art der Doppelbrechung von der durch Krystalle erzeugten scharf zu sondern. Hieraufl fussend nahmen Forscher, die sich mit dem Studium der Gewebe in polarisirtem Lichte beschäftigten, an, dass sich gewisse hier vorkommende Erscheinungen nur durch die Einlagerung unsichtbarer Kryställchen oder krystallini-

---

1. HERSCHEL, Vom Licht. S. 582. Vgl. auch DOVE, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. 8. S. 247—62.

2. Die nähere Erklärung dieses Ausdruckes siehe z. B. bei MARBACH, Pogg. Ann. Bd. XCIX. 1856. S. 453. Vgl. BILLET a. a. O. Tome II. p. 402 ff.

3. PASTEUR, Pogg. Ann Bd. XC. 1853. S. 505—508.

4. MARBACH a. a. O. S. 455.

5. BRIOT, *Comptes rendus*. Tome L. 1860. p. 141.

scher Massen erklären liessen, während Andere diese nicht genügend begründete Ansicht mit eben so wenig bindenden Gründen widerlegten. Eine nähere Betrachtung kann lehren, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen Krystallisation und Spannung nicht vorhanden ist, wenn man bei den Molecülen eines unendlich kleinen Bezirkes stehen bleibt und dass die Eigenthümlichkeiten, die sich in der Erfahrung zeigen, von dem Grade der Gleichartigkeit oder Ungleichartigkeit der Anordnung in allen Bezirken des Körpers abhängen.

§. 94. Man stellt sich vor, dass die Aethertheilchen, welche einen wägbaren Körper durchdringen, zwischen den ponderablen Molecülen liegen und von der Stellungsweise derselben in ihrer Anordnung abhängen. Jede dieser beiden Arten von Molecülen ist aber von den nächsten gleichartigen um eine gewisse sehr kleine Wegstrecke entfernt. Dieses führte auf den Gedanken, dass abstossende Kräfte sie auseinander halten. Die der Corpusculartheorie der Wärme anhängenden Mathematiker[1] dachten sich, dass jedes wägbare Theilchen eine gewisse Menge von Wärmestoff vermöge der aller Materie eigenen Anziehung an sich gefesselt halte und dieser die unmittelbare Annäherung der wägbaren Molecüle vermöge seiner Abstossung hindere. Die gegenwärtig wahrscheinlichere Ansicht, dass auch die Wärme aus Schwingungen hervorgeht, schreibt die Erscheinung der Elasticität des Aethers zu, der jedes wägbare Molecül umgibt.

§. 95. Da der kleinste Bezirk eines Körpers unzählige Molecüle enthält, so braucht man nicht die untergeordneten Unterschiede derselben in Betracht zu ziehen, sondern kann in dieser Hinsicht Gleichartigkeit annehmen und gleichsam mit einem mittleren Molecüle und einer mittleren Entfernung zweier rechnen. Das auch alle statistischen Untersuchungen beherrschende Gesetz der grossen Zahlen berechtigt hierzu. Ein Mittelwerth, den wir aus einer Menge von Grössen bestimmen, fällt um so richtiger aus,

---

1. Poisson, *Mém. de l'Institut.* Tome XVIII. 1842. 4. p. 9.

je mehr sich die zum Grunde liegenden Zahlen paarweise so zusammenstellen lassen, dass immer eine eben so sehr über, als die andere unter dem Mittelwerthe liegt. Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Bedingung genügt wird, wächst aber mit der Menge der Einzelwerthe. Man kann sie der Einheit, d. h. der Gewissheit gleich setzen, wenn die Zahl der Einzelfälle viele Millionen beträgt. Dieses ist bei den Molecülen eines jeden kleinsten Bezirkes der Fall.

§. 96. Die Erfahrung lehrt, dass die stärksten uns zu Gebote stehenden Drucke das Volumen der festen und der tropfbar flüssigen Körper wenig verkleinern. Man schliesst hieraus, dass die Grösse der Kräfte, welche die wägbaren Molecüle auseinander halten, ausserordentlich bedeutend ist. Man nennt die lineare Dilatation die nach einer Richtung genommene verhältnissmässige Abstandsveränderung zweier betrachteten (benachbarten oder entfernteren) Molecüle oder den Quotienten der Abstandsänderung und der ursprünglichen Entfernung, wenn ein solcher Distanzwechsel durch innere oder äussere Kräfte zu Stande gekommen. Ihr Werth ist positiv, wenn sich die Entfernung vergrössert oder bei der Erweiterung und negativ, sobald sie sich verkleinert oder bei der Verengerung, Zusammendrückung. Jede solche Aenderung der Entfernung aber beträgt wiederum nur einen kleinen Bruchtheil des schon sehr geringen ursprünglichen Abstandes, so dass man die höheren Potenzen derselben in der Rechnung ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann. Hat sich aber auf diese Art ein Molecül verrückt, so werden neue Wirkungen erregt, da die Molecüle, zu denen eine Annäherung stattfand, mehr abstossen und die in grösserer Entfernung mehr anziehen. Jene hören rasch auf, weil es ein charakteristisches Merkmal der Molecularkräfte bildet, dass sie nur für die nächsten Theilchen von Bedeutung sind oder, wie man sich ausdrückt, zu Null werden, so wie der Abstand einen merklichen Werth erreicht.

§. 97. Nimmt man überhaupt an, dass es unkrystallinische Massen gibt, so setzt man voraus, dass die Gestalten, die Lagen

und die Entfernungen der ein Theilchen umgebenden Molecüle unregelmässig sind. Die Rechnung mit dem mittleren Molecül und dem mittleren Abstande findet daher ihre weiteste Begründung und Anwendung. Die Molecüle, ihre Schwerpunkte und ihre gegenseitigen Verbindungslinien liegen in den krystallisirten Körpern in Reihen paralleler gerader Linien[1]. Die Krystallgestalt mit ihren ebenen Begrenzungen bildet die Folge dieser Anordnung. Man nennt die Krystallachse oder die Hauptachse diejenige bevorzugte Linie, um welche herum die Flächen symmetrisch vertheilt sind. Wir können daher durch sie senkrechte Durchschnitte führen, die von einer regelmässigen Figur begrenzt werden. Ihre Anwesenheit bildet kein nothwendiges Bedingungsglied der Krystallgestalt überhaupt.

§. 98. Lässt man die longitudinalen Schwingungen unbeachtet (§. 14), so lehrt die Theorie, dass sich die Unruhe eines in einem krystallinischen Körper befindlichen Aethermolecüles nach drei unter einander rechtwinkeligen Richtungen, die den Achsen des Constructionsellipsoides (§. 21) parallel sind und die drei Elasticitätsachsen darstellen (§. 19), fortpflanzt. Nun sind die Krystalle, die zu dem regelmässigen Systeme gehören, so gebaut, dass sie drei unter einander rechtwinkelige und gleiche Hauptachsen haben. Da der in ihnen enthaltene Aether dieselbe Anordnung wie die wägbaren Theilchen besitzt, so brechen auch alle Körper, die in solchen Formen, z. B. dem Würfel, dem regulären Oktaëder krystallisiren, wie das Kochsalz, der Alaun einfach, weil kein Unterschied der Fortpflanzungsgeschwindigkeit je nach den drei Hauptrichtungen des Raumes stattfindet, mithin das Constructionsellipsoid zur Kugel wird. Der Name isotrop, den solche Mittel tragen, bezieht sich hierauf. Da alle übrigen Krystallformen jene Gleichheit der Richtungen nicht darbieten, so sind sie sämmtlich doppeltbrechend oder anisotrop. Die Krystalle mit einer optischen Achse haben auch eine krystallographische Hauptachse. Die übrigen sind zweiachsig. Allein nur ein Theil

---

1. Poisson a. a. O. p. 11—13.

derselben lässt sich durch drei unter einander senkrechte **krystallographische Hauptschnitte** so zerlegen, dass die Hälften des Krystalles zu ihnen symmetrisch sind. Die einzelnen hierher gehörenden Krystallsysteme und die für den Mikroskopiker wichtigsten krystallinischen Körper sind in dem fünften Abschnitte verzeichnet worden.

§. 99. Wir pflegen diejenigen Körper als Krystalle anzusprechen, die ebene Begrenzungsflächen dem freien Auge oder unter dem Mikroskope darbieten oder sie bei der Spaltung als sogenannte **Blätterdurchgänge** verrathen. Diese Auffassungsweise führt zu Täuschungen. Viele unorganische und organische Körper schlagen sich so nieder, dass man sie nach jenem Grundsatze für krystallisirt halten müsste. Eine nähere Untersuchung ergibt, dass dieses nicht der Fall ist. Wir werden unter Anderem in dem letzten Abschnitte sehen, dass solche Irrungen in Betreff der Blutkrystalle vorkommen können. Jene Anschauung erweist sich aber als viel zu eng und verliert daher ihren Boden, wenn wir zu den Molecularverhältnissen zurückgehen.

§. 100. Wir finden zuvörderst, dass der Unterschied zwischen nicht krystallisirten Körpern, wie wir sie in unseren theoretischen Betrachtungen behandeln, und den Krystallen des regulären Systems für uns aufhört, sobald wir nur die Molecularanordnung der kleinsten Bezirke im Auge behalten. Das Gesetz der grossen Zahlen berechtigt uns, von der Unregelmässigkeit der Form und der Vertheilung der Molecüle abzusehen und nur das mittlere Molecül und den mittleren Abstand ins Auge zu fassen (§. 95). Da aber diese Mittelwerthe nach allen Richtungen hin gleich sind, so werden wir hierdurch unmittelbar zu der charakteristischen Eigenthümlichkeit der regulären Krystalle geführt. Hat ein Körper, den wir sonst nicht als Krystall anerkennen, im Ganzen oder an einzelnen Stellen eine solche Molecularanordnung, dass bestimmte entsprechende Reihen der Molecüle herauskommen, so sprechen wir von Spannungen desselben. Dieses ist aber Krystallisation dem Wesen nach. Nimmt man wieder an, dass die Anordnung der Aethertheil-

chen der der wägbaren Molecüle folgt, so kann auf diese Art ein nicht krystallisirter Körper durch Spannungen krystallisirt werden, ohne das Vermögen der Doppelbrechung zu gewinnen, oder auch eine einachsige oder eine zweiachsige Beschaffenheit erhalten. Es bleibt denkbar, dass ein doppelt brechender Körper auf diese Weise einfach brechend, ein einachsiger zweiachsig wird oder umgekehrt. Beispiele aus der organischen Natur, welche einzelne Fälle der Art näher erhärten, sind in dem vierten und dem fünften Abschnitte angegeben.

§. 101. Nehmen wir als Erklärung eines einfachen Krystallindividuums an, dass die reihenweise Anordnung der Molecüle in allen Bezirken desselben übereinstimmt, dass, wie man sagt, die Hauptdruckachsen (§. 105) längs der ganzen Masse parallel bleiben, so werden die Wirkungen, die von ihnen herrühren, nur von der Richtung, nicht aber von dem Orte in dem Krystalle abhängen. Es ist daher gleichgültig, welche Stelle eines Krystalles wir zu einer für optische Untersuchungen bestimmten Platte verarbeiten, vorausgesetzt, dass die Beziehungen der Richtung zu den optischen Achsen unverändert bleiben. Der kleinste Bezirk wirkt im Allgemeinen wie die ganze Masse, da diese nur die unendliche Wiederholung gleichartiger kleinster Bezirke bildet. Körper, die innere Spannungen darbieten, verhalten sich in dieser Hinsicht anders. Hat nicht die Spannung die gleichförmige reihenweise Anordnung überall hervorgerufen und so den Körper in ein einfaches Krystallindividuum übergeführt, so wechselt die Molecularstellung mit den verschiedenen Bezirken. Die mechanischen und die optischen Wirkungen der Spannung sind daher dann nicht bloss Functionen der Richtung, sondern auch des Ortes. Sie können sich von Stelle zu Stelle ändern, wie die unorganischen und die organischen Körper häufig beweisen.

§. 102. Es ergibt sich aus dem eben Dargestellten, dass wir jede grosse oder kleine Masse, in der sich die Hauptrichtungen der Molecularanordnung durch das Ganze geradlinigt fortsetzen, für ein Krystallindividuum halten müssen. Ein mit Spannungen ver-

sehener Körper erscheint daher im allgemeinsten Falle als ein Aggregat unendlich vieler kleinster Krystallindividuen, deren Achsenrichtungen von Ort zu Ort wechseln. Man nennt ihn dann ungleichförmig dilatirt. Die Grösse und die Richtung der Hauptdruckachsen und der optischen Elasticitätsachsen können sich desshalb von Stelle zu Stelle ändern[1]. Ist er gleichförmig dilatirt oder fallen die Hauptlinien überall zusammen, so hat man ein einziges Krystallindividuum.

§. 103. Diese Auffassungsweise erklärt einen Unterschied, der zwischen der Doppelbrechung der grösseren Krystalle und der durch Spannungen stattfindet, und den wir auch in der organischen Welt hin und wieder antreffen werden. Die Gleichartigkeit, die sich durch ein jedes grössere Krystallindividuum zieht, bedingt es, dass wir im Allgemeinen dieselben optischen Wirkungen für das kleinste Bruchstück wie für das Ganze erhalten. Die ungleichförmigen Dilatationen gestatten eine andere Möglichkeit. Da hier die Grösse und die Richtung der Elasticitätsachsen zu wechseln vermag, so ereignet es sich, dass unser Auge, welches nur die Gesammtresultante der Wirkungen der unendlich vielen unendlich kleinen hier vorhandenen Krystallindividuen auffasst, andere Bilder wahrnimmt, wenn es das Ganze als wenn es nur ein einzelnes Bruchstück betrachtet. Die Form des Ganzen spielt daher hier eine Hauptrolle. Die Differentialgleichungen müssen auch für die durch die Oberfläche gegebenen Bedingungen integrirt werden. Eine Aenderung der Form des Ganzen lässt daher die Polarisationsbilder wechseln.

§. 104. Dreierlei Hauptursachen, äusserer Druck, Wärmewechsel und Verdunstung rufen innere Spannungen hervor. Der einseitig thätige Druck oder eine allseitige, aber vermöge der Form des Körpers in verschiedenen Richtungen ungleich wirkende Pressung kann auf diese Art Körper, wie Glas, die sonst einfach bre-

1. F. E. Neumann, Die Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimirten oder ungleichförmig erwärmten unkrystallinischen Körpern. Berlin 1843. 4. (Abhandl. d. Berl. Akad. aus dem Jahre 1841.) S. 7. 61.

chen, in doppelt brechende Massen verwandeln. Ist eine Substanz an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt, so können sich die Theilchen in ihrer durch die Molecularanordnung gegebenen Gebundenheit nicht so frei ausdehnen, als wenn sie frei wären. Die vorhandene Molecularstellung bedingt daher, dass man ungleiche Dilatationen nach verschiedenen Richtungen hat. Eine gleichförmige Wärmevertheilung in ungleich sich ausdehnenden und wechselseitig fest verbundenen Körpern führt zu demselben Ergebnisse. Einseitig erwärmte oder abgekühlte Gläser werden doppelt brechend und diese Eigenschaft erhält sich für immer als bleibende Spannung, wenn eine rasche einseitige Rückkehr zur früheren gewöhnlichen Temperatur stattgefunden hat. Die Verdunstung kann das Gleiche bewirken, indem die zwischen den Molecülen des festen Körpers befindlichen Wassertheilchen davongehen. Die hierdurch erzeugte wechselseitige Annäherung der ersteren kann natürlich in verschiedenen Richtungen ungleich ausfallen und so eine nicht krystallisirte Masse in eine krystallisirte und eine einfach brechende in eine doppelt brechende umwandeln. Die optischen Eigenschaften getrockneter Polarisationspräparate organischer Körper stimmen daher nicht selten mit denen der gepressten oder gekühlten Gläser in vielfacher Hinsicht überein. Wir werden übrigens in dem fünften Abschnitte sehen, dass die Wachsthumserscheinungen in manchen Fällen ähnlich wirken.

§. 105. NEUMANN[1] stellte zuerst für die lineare Dilatation der Körper eine Gleichung auf, die ein vollkommenes Seitenstück der der FRESNELschen Elasticitätsfläche (§. 21) bildet und die einer Elasticitätsfläche des Druckes entspricht, deren Achsen die Hauptdruckachsen genannt werden. Diese und die optischen Elasticitätsachsen wechseln, wie wir sahen, in einem ungleichförmig dilatirten Körper in Grösse und Richtung von Stelle zu Stelle. Tritt nun ein polarisirter Strahl in eine solche Masse ein, so wird er nicht bloss am Anfange in zwei rechtwinkelig polarisirte Strahlen zerlegt, sondern jeder von diesen geht im Allgemeinen in zwei

1. NEUMANN a. a. O. S. 3.

neue Strahlen über, sowie er in ein neues schief gelagertes Krystallindividuum gelangt. Man hat daher hier eine Unzahl verschieden polarisirter und ungleich schnell fortgepflanzter Strahlen und Schwingungen. NEUMANN[1] nahm, um die mathematische Untersuchung zu vereinfachen, an, dass die Unterschiede der optischen Elasticitätsachsen so gering ausfallen, dass man alle höheren Potenzen derselben als die erste vernachlässigen kann. Man ist dann im Stande, die Bahnen der Lichtstrahlen im Innern des Körpers als geradlinig, wenigstens für die Berechnung der Gangunterschiede und der Interferenzen anzusehen und die nach dem Austritte unter einander interferirenden Strahlen so aufzufassen, als hätten sie den Körper in derselben Richtung durchsetzt. Es ist dem Scharfsinne dieses grossen mathematischen Physikers gelungen, eine Frage durch die Erfahrung zu entscheiden, die man auf den ersten Blick von blossen theoretischen Annahmen abhängen lassen würde.

§. 106. Ein mit inneren Spannungen versehener unkrystallinischer Körper besitzt eine bestimmte Anordnung seiner wägbaren Molecüle und eine ihr entsprechende der Aethertheilchen. Die Doppelbrechung, welche die gleichförmige Compression in der zu einem Krystallindividuum verwandelten Masse (§. 102) hervorruft, kann möglicher Weise dreierlei Ursachen haben, die veränderte Lage der Aethertheilchen, welche die Folge der veränderten Stellung der wägbaren Molecüle bildet, oder die geänderte Einwirkung der letzteren auf die Aethertheilchen oder beide Momente zugleich. Die Rechnung nach der zweiten Annahme führt zu dem Ergebnisse[2], dass der Unterschied der Geschwindigkeiten des zusammengehörenden ordentlichen und ausserordentlichen Strahles dem Quadrate der Undulationsdauer proportional ist. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes für alle Farbenstrahlen gleich ausfällt, so steht die Undulationsdauer in geradem Verhältnisse zur Wellenlänge der einzelnen Farbenstrahlen (§. 10). Wächst die Compression oder die Dicke eines zusammengedrückten Körpers,

---

1. NEUMANN a. a. O. S. 7 und S. 63.
2. NEUMANN a. a. O. S. 28—33.

so würde hiernach der Gangunterschied der interferirenden Strahlen entgegengesetzt wie die Quadrate der Wellenlängen zunehmen, weil die Schnelligkeit der Bewegung um so grösser, je kleiner die Undulationsdauer. Die Farben, die dann zum Vorschein kommen, lehren aber, dass ein directes und kein umgekehrtes Verhältniss in jener Beziehung stattfindet. Hieraus folgt, dass die Einwirkung der veränderten Lage der wägbaren Theilchen auf die Aethertheilchen keine für uns merkliche Bedingung der Doppelbrechung liefert, dass daher die zweite und die dritte Annahme hinwegfallen. Die Sonderung in zwei Strahlen rührt mithin vorzugsweise oder ausschliesslich davon her, dass die Aethertheilchen eine neue entsprechende Anordnung in Folge der Verrückung der zu ihnen gehörenden wägbaren Molecüle angenommen haben und daher ungleiche Elasticitätsachsen zum Vorschein kommen.

§. 107. Die Analyse liefert eine Reihe hiermit zusammenhängender Uebereinstimmungen zwischen der Elasticitätsfläche des Druckes und der optischen Elasticitätsfläche. Die Normalen der Kreisschnitte des Druckellipsoides oder die neutralen Achsen desselben und die der optischen Elasticitätsfläche oder die optischen Achsen (§. 20) haben die gleichen Richtungen[1]. Dasselbe gilt von den Fahrstrichen des gemeinschaftlichen Schnittes beider Oberflächen[2]. Eine (gewöhnliche) Lichtwelle, die senkrecht auf der neutralen Achse des Druckes steht, besitzt einerlei Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wird daher einfach gebrochen und hat eine beliebig gerichtete Polarisationsebene. Die festen Theile eines gespannten Körpers erlitten aber auch die gleiche Dilatation in allen Richtungen einer Schnittfläche, die auf der neutralen Achse senkrecht steht (§. 98). Jeder andere Schnitt, den man durch den Körper führt, hat zwei auf einander rechtwinkelige Richtungen, in denen die Dilatation ein Maximum oder ein Minimum ist. Eine parallel dem Schnitte sich bewegende Lichtwelle ist nach der einen oder der anderen dieser Richtungen polarisirt,

1. NEUMANN a. a. O. S. 38.
2. NEUMANN a. a O. S. 39.

je nachdem der Unterschied zweier für jede Masse beständigen Werthe positiv oder negativ ausfällt. Die Differenz der grössten und der kleinsten Dilatation endlich verhält sich in jedem Schnitte proportional dem Unterschiede der beiderlei Geschwindigkeiten, mit denen sich eine mit dem Schnitte parallele Lichtwelle bewegen kann[1].

§. 108. NEUMANN[2] stiess noch bei diesen Untersuchungen auf eine merkwürdige Folgerung, die den Erwartungen der Wellenlehre des Lichtes widerspricht. Während die Emanationstheorie annehmen muss, dass ein Strahl, der aus einem optisch dünneren Mittel in ein dichteres übergeht, in diesem rascher verläuft, ergibt sich aus der Wellenlehre, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle des zweiten Mediums geringer ausfällt (§. 11). NEUMANN[3] leitet aber aus seinen Formeln her, dass jene wächst, wenn die Dichtigkeit eines Körpers durch einen mechanischen Eingriff vergrössert wird. Die Untersuchung der Ablenkung der Lichtstrahlen durch ein Glasprisma lehrte, dass die durch die Erwärmung bedingte Dichtigkeitsabnahme eine Erhöhung des Brechungscoëfficienten, also eine Verkleinerung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit (statt der erwarteten Vergrösserung) erzeugt, die jedoch geringer, als der gleiche Dichtigkeitswechsel durch mechanische Eingriffe ausfällt[4].

§. 109. BIOT[5] beschrieb unter dem Namen der Blätterpolarisation (*Polarisation lamellaire*) eine Erscheinung, die meistentheils, wo nicht immer von inneren Spannungen herrührt. BREWSTER[6] hatte zuerst Andeutungen von Doppelbrechung in einzelnen Krystallen des regulären Systemes (§. 98), in solchen des Kochsalzes, des Alauns, des Flussspathes und des Diamantes be-

1. NEUMANN a. a. O. S. 40.
2. NEUMANN a. a. O. S. 59.
3. NEUMANN a. a. O. S. 59.
4. NEUMANN a. a. O. S. 60.
5. BIOT, *Mém. de l'Institut.* Tome XVIII. Paris 1842. 4. p. 540—725.
6. Das frühere Litterarische gibt BIOT Ebendaselbst p. 636—642.

merkt. Er hob später die eigenthümliche Wirkung des Analcimes hervor[1] und zeigte an, dass einachsiger, zweiachsiger und selbst beide Eigenschaften an verschiedenen Stellen des gleichen Exemplares darbietender Apophyllit vorkommt. BIOT unterwarf hierauf eine grosse Reihe von Krystallen des gewöhnlichen, fabrikmässig dargestellten Alauns der Prüfung in dem Polarisationsapparate, während sie sich in einer gesättigten Alaunlösung befanden. Die schwache Doppelbrechung konnte meist erst nach der Einschaltung eines Gypsblättchens von Violett dritter Ordnung (§. 174) erkannt werden. Zwei der Oktaëderflächen erschienen dann roth, die beiden anderen dagegen grün[2]. Krystalle des Salmiaks, des Boracits, des Amphigens lieferten ähnliche und die des Apophyllits eine Reihe sehr eigenthümlicher Erscheinungen[3]. MITSCHERLICH und MARBACH[4] fanden später Aehnliches in dem chlorsaueren Natron und der letztere in anderen sonst einfach brechenden oder einachsigen Krystallen, wie dem bromsaueren Nickeloxydul, dem salpetersaueren Strontian, dem salpetersaueren Baryt und dem salpetersaueren Bleioxyd. BIOT nannte die Erscheinung die Blätterpolarisation, weil er den Grund derselben in dem blättrigen Baue der Krystalle suchen zu müssen glaubte. Die Zurückwerfung und die Brechung des Lichtes durch einzelne Blätter erzeugt zwar zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen (§. 28). Sie liefert aber keine Erklärung der Doppelbrechung, wie BIOT[5] selbst schon bemerkt. MARBACH[6] sprach die Vermuthung aus, dass die allmählig fortschreitende Bildung grösserer Krystalle eine Spannung erzeugt, die ihre höchsten Werthe in bestimmten Schichten erreicht und hier eine (merkliche) Doppelbrechung herbeiführt.

§. 110. Die §. 100 erläuterten Verhältnisse der die inneren Spannungen begleitenden Molecularanordnung scheinen alle Ei-

1. Vgl. BREWSTER, Populäre Optik. Bd. II. S. 11. 12 und HERSHEL, Vom Licht S. 673.

2. BIOT a. a. O. p. 544. 549.

3. Siehe BIOT a. a. O. p. 661. 666. 669. 671. 675.

4. MARBACH, Pogg. Ann. Bd. XCIV. 1855. S. 413.

5. BIOT a. a. O. p. 626.

6. MARBACH a. a. O. S. 425.

genschaften der Blätterpolarisation, die hin und wieder an mikroskopischen Krystallen eben so gut als an den grössten angetroffen wird, erklären zu können. Diese ausnahmsweise Doppelbrechung findet sich übrigens häufiger, als man noch gegenwärtig anzunehmen pflegt. Wir werden in dem dritten Abschnitte Mittel kennen lernen, durch die man sehr schwache Grade der Blätterpolarisation in Kochsalz-Krystallen entdeckt, die der gewöhnlichen Beobachtung entgehen und im vierten sehen, dass man sie in den Polarisationsplatten einachsiger Krystalle sehr oft antrifft.

§. 111. Nachdem Jordan[1] seine Untersuchungen über die Wiederherstellung verstümmelter Krystalle gemacht hatte, theilte er mir ein Exemplar mit, in dem sich ein durchsichtiges Oktaëder gewöhnlichen Alauns um einen mangelhaften Krystall von Chromalaun gebildet hatte. Die ganz eben begrenzten, dem nicht fehlerhaften Theile des letzteren entsprechenden Abschnitte des äusseren Alaunoktaëders besitzen eine so ausgezeichnete Doppelbrechung, dass sie schon sehr lebhafte gelbe und blassblaue Farben ohne die Einschaltung eines Gypsblättchens liefern, wenn man sie unter Terpentinöl in einem gewöhnlichen Polarisationsapparate untersucht. Lässt man einen Tropfen einer Lösung von Kalialaun auf einer Glasplatte verdunsten, so findet man unter dem Mikroskope viele Krystalle, die keine Doppelbrechung und hin und wieder einzelne, die Spuren derselben darbieten. Die zusammengehäuften Spiesse dagegen, die an den dem früheren Tropfenrande entsprechenden Stellen des Glases liegen, zeigen häufig feurige Polarisationsfarben an einzelnen Stellen. Es kam mir vor, dass diese an manchen Orten ganz zu fehlen schienen, nachdem das Präparat einige Zeit in Canadabalsam aufbewahrt worden. Lässt man eine concentrirte Kochsalzlösung in einem Glase verdunsten, so dass die Krystalle an der Wand des Gefässes heraufkriechen, so findet man unter diesen einzelne, die eine merkliche Blätterpolarisation unter dem Mikroskope darbieten.

1. Jordan, Müllers Arch. 1842. S. 46—56.

Zweiter Abschnitt.

Polarisationsinstrumente.

§. 112. Da die Natur in den Pflanzen und den Thieren mit Werkzeugen arbeitet, die dem Anblicke des freien Auges ihrer Kleinheit wegen entgehen, so ist jede nicht einseitige Erforschung der organischen Welt auf die Stütze der Vergrösserungsgläser angewiesen. Die Geweblehre kann nur durch Beobachtungen, die man mit dem Mikroskope anstellt, begründet werden. Die allgemein verbreitete Ansicht, dass dieses mit den nöthigen polarisirenden Vorrichtungen versehene Instrument ausreicht, um die Eigenthümlichkeiten der pflanzlichen und der thierischen Gewebe in polarisirtem Lichte zu verfolgen, beruht auf einem Irrthume. Das Mikroskop genügt in vielen Fällen nicht und erst andere vervollkommnete Polarisationsinstrumente können zu dem erwünschten Ziele führen, wie wir in den beiden letzten Abschnitten sehen werden. Wir wollen vorläufig nur ein Beispiel hervorheben. Die Schale der Malermuschel besteht aus äusseren Lagen, die den kohlensauren Kalk in der Form des Kalkspathes, also in einer einachsigen Modification und aus inneren, die ihn in der Gestalt des Aragonits, mithin als zweiachsigen Körper führen. Die Kreuze, welche die einachsige Beschaffenheit verrathen, lassen sich nur unter starken Vergrösserungen des Mikroskopes und die Hyperbeln und die lemniscatenähnlichen Figuren, welche der zweiachsigen Beschaffenheit entsprechen, bloss unter grösseren Polarisationsapparaten mit geeigneten Linsensystemen nachweisen.

§. 113. Dreierlei Arten von Vorrichtungen dienten zu den Untersuchungen, deren Ergebnisse in dem vierten und dem fünften Abschnitte mitgetheilt werden, ein allgemeiner, in mancher Hinsicht dem Dove'schen[1] ähnlicher Polarisationsapparat,

1. H. W. Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. 8. S. 202—213.

den Herr Professor Wild mit gewonhter Zuvorkommenheit für die Berner Anatomie anfertigen liess und dessen Linsensysteme er vorher berechnet hatte, den wir daher unter dem Namen des Wildschen Polarisationsapparates anführen werden, ein Nörrenbergsches Polarisationsmikroskop neuester Construction mit grossem Gesichtsfelde, das man nicht mit dem gewöhnlichen Nörrenbergschen Polarisationsapparate der physikalischen Cabinette verwechseln darf, und verschiedene einfache oder zusammengesetzte Mikroskope, an denen die nöthigen Einrichtungen für Polarisation und Analyse angebracht waren. (§. 231 Fig. 62.)

§. 114. Der allgemeine Wildsche Polarisationsapparat (Fig. 23 und 24) besitzt einen 6,3 Decimeter langen Messingstab *ab* von quadratischem Querschnitt, an dem die übrigen Stücke mit gedeckten Klemmschrauben befestigt werden. Die eine Fläche desselben trägt eine Centimetertheilung, damit man die Linsen und, wenn es nöthig wird, auch die übrigen Stücke in berechneten Abständen anbringen könne. Der Stab selbst lässt sich nach Bedarf in einer Hülse *c* verschieben, die selbst wieder an einem runden Messingstabe befestigt ist. Der letztere trägt an dem anderen Endtheile ein verrückbares Gegengewicht *d*, um die Lage des gemeinschaftlichen Schwerpunktes bei den verschiedensten Belastungen und Stellungen reguliren zu können. Er durchsetzt rechtwinkelig einen zweiten wagerechten, um seine Achse drehbaren Messingcylinder, dessen Lagerstück *e* sich wieder um die senkrechte Achse in dem Stativ *f* vollständig zu drehen vermag. Man ist auf diese Weise im Stande, den Stab mit Allem, was er trägt, senkrecht, wagerecht oder unter einem beliebigen Winkel einzustellen und durch ein Paar stählerner Klemmhebel *g* zu befestigen. Die Drehung um die senkrechte Achse macht es möglich, die Vorrichtung nach jeder Seite zu wenden. Ein an einer beliebigen Stelle mittelst Messingklammern anzuklemmender und dann mit einer Schraube festzustellender Stahlstab *h* sichert vor den Verbiegungen des viereckigen messingenen Trägers *ab*. Die Form des letzteren endlich gestattet, die Nebenstücke so anzubringen, dass sie seitlich hervor-

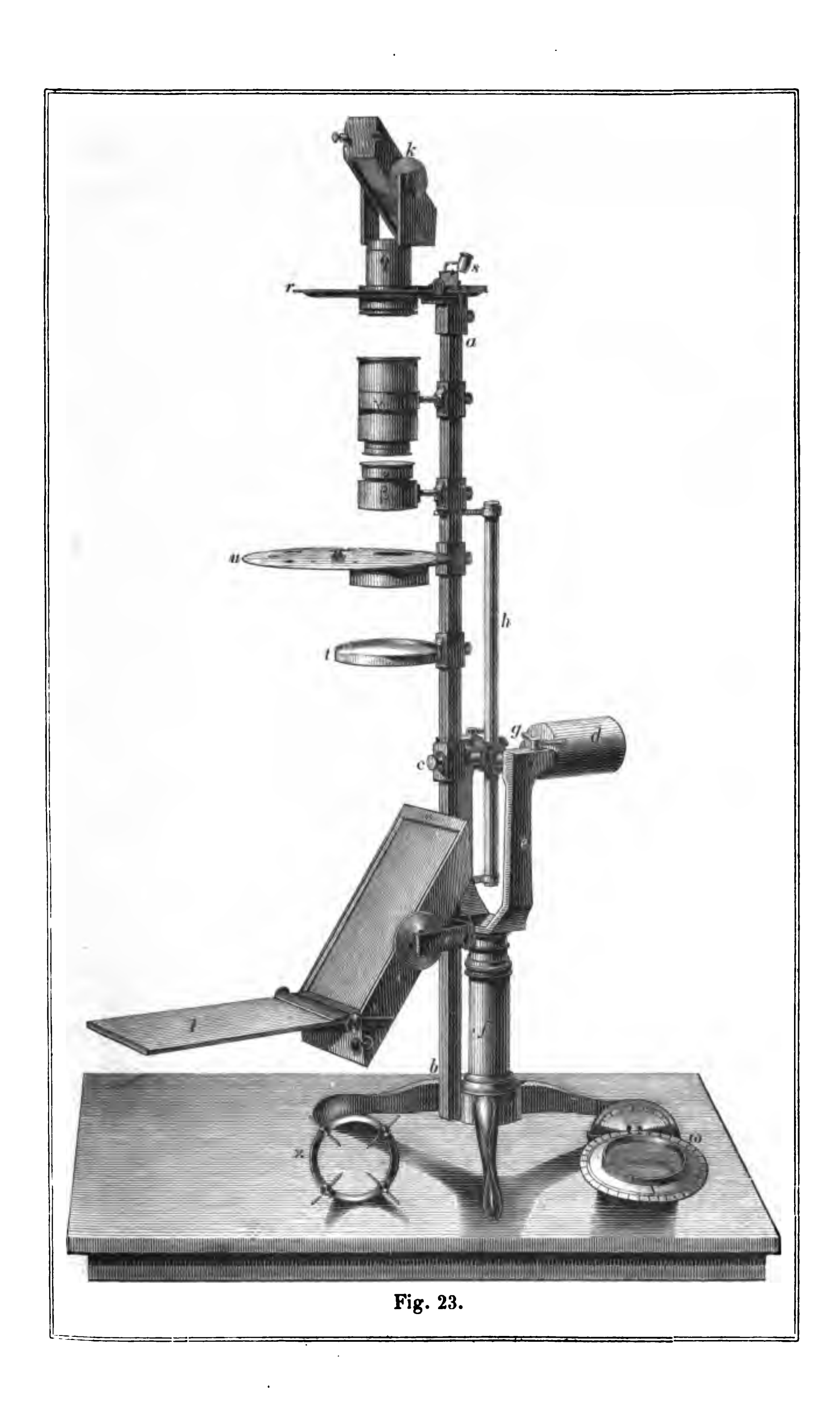


Fig. 23.

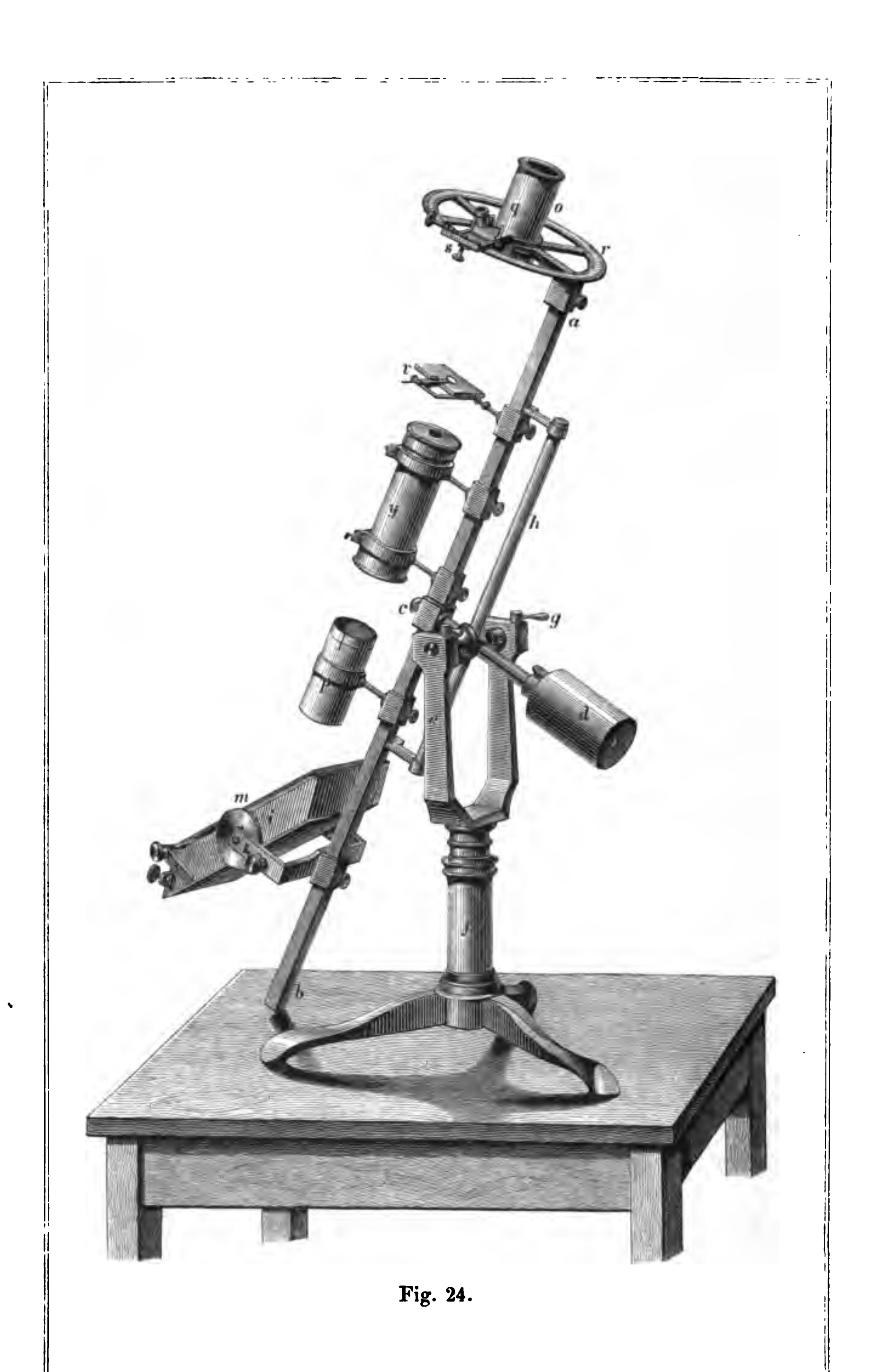


Fig. 24.

ragen, wenn man z. B. Versuche über den Einfluss der Erwärmung auf die Polarisationsfiguren eines zusammengedrückten oder freien Glaswürfels anstellen will.

§. 115. Man kann die Zurückwerfung, die einfache oder die doppelte Brechung für die Erzeugung und die Zerlegung des polarisirten Lichtes benutzen. Die hierzu dienenden Glasplatten und Nicol sind sämmtlich von Duboscq in Paris geliefert worden.

§. 116. Ein Plattensatz i von zwölf Spiegelgläsern von 16 Centimeter Länge, 8 Centimeter Breite und 2 Millimeter Dicke kann als Polarisator gebraucht werden. Man bedient sich nur in seltenen Ausnahmsfällen dieser ganz durchsichtigen Glassäule. Zehn jener Spiegelgläser dienen gewöhnlich. Man ersetzt aber dann die beiden anderen durch eine Spiegelplatte von schwarzem Glase derselben Oberfläche und von 4½ Mm. Dicke, um einen undurchsichtigen Grund herzustellen. Wild bestimmte den Polarisationswinkel derselben zu 55^0 20′. Dieser entspricht also einem Brechungscoëfficienten von 1,446 (§. 29).

Zwölf andere Spiegelglasplatten von 8 Centimeter Länge, 4 Centimeter Breite und etwas über 1 Millimeter Dicke und eine Platte schwarzen Spiegelglases von derselben Oberfläche und 3½ Mm. Dicke dienen zur Analyse des polarisirten Lichtes (k). Jeder dieser beiden Plattensätze befindet sich in einem verschliessbaren Messingrahmen, an dessen Seite eine Kreisscheibe zur Bestimmung des Neigungswinkels gegen die Achse des Instrumentes, wie in dem Biot'schen Polarisationsapparate[1] angebracht ist. Sie trägt eine Theilung, die von 0^0 bis 45^0 für den Polarisator und für 0^0 bis 90^0 für den Analysator reicht. Man kann auf diese Weise jeden der beiden Plattensätze unter dem Polarisationswinkel oder einem anderen, minder günstigen Winkel einstellen.

§. 117. Der untere Plattensatz mit undurchsichtigem Hinter-

---

1. Biot, *Traité de Physique expérimentale et mathématique*. Vol. IV. Paris 1816. 8. Pl. III. Fig. 2.

grunde dient häufig zur Erzeugung des polarisirten Lichtes, der obere dagegen wird nur zur Demonstration in den Vorlesungen oder in Einzelfällen, in denen man die entgegengesetzt polarisirten Bilder des zurückgeworfenen und des gebrochenen Strahles auf ein Mal haben will, in Anwendung gezogen. Es versteht sich von selbst, dass dann der undurchsichtige Hintergrund hinwegbleibt. Man hat das der Reflexion entsprechende Bild, wenn man von der Vorderseite himblickt und das von der Brechung herrührende, wenn man durch die Hinterseite in der Richtung der Achse des Instrumentes sieht. Es gibt Fälle, in denen nur diese Vorrichtung und nicht ein Nicol zur Zerlegung genügt, wenn man z. B. Glimmer- oder Gypsblättchen, Krystallplatten oder gekühlte Gläser bei einfacher und hierauf bei doppelter Dicke beobachten will (§. 197). Der Gebrauch beider Plattensätze ist übrigens bei allen Linsencombinationen möglich.

§. 118. Ein ebener Quecksilberspiegel (*l* Fig. 23) lässt sich noch an dem Rahmen des unteren Plattensatzes mittelst zweier Schraubengewinde unter verschiedenen Neigungswinkeln feststellen, um die Lichtstrahlen durch Reflexion dem Polarisator zuzuführen. Die ebenfalls zu gebrauchende Rückseite des Spiegels, *m* Fig. 24, ist mit weissem Papier überzogen. Man benutzt sie bei hellem Lichte, um die störende Spiegelung gegenüberstehender Gegenstände, z. B. der Fensterrahmen, zu vermeiden oder zur Beobachtung bei künstlicher Beleuchtung des dunkelen Zimmers.

§. 119. Zwei Nicol, *o* und *p* Fig. 24, können auch als Polarisator und Analysator verwendet werden. Das untere Nicolsche Prisma *p*, bei dessen Gebrauche man noch eine später zu beschreibende Linse für feinere Untersuchungen der Polarisationsbilder anbringt, hat eine ungefähre Länge von 6 Centimeter und eine grössere Diagonale der schiefen rhombischen Endfläche von 2,7 Centimeter. Es steckt in einer cylindrischen Hülse, deren Oberflächenrand nach je 45° getheilt ist. Da diese in einer zweiten mit einer Marke versehenen Trägerhülse um die Längsachse gedreht werden kann, so vermag man die Polarisationsebene unter 0°, ± 45°

und 90° genau und in den Zwischenwerthen annähernd in Bezug auf einen seiner Lage nach bekannten Ausgangspunkt einzustellen. Das als Zerleger dienende Nicol *o* besitzt die ungefähre Länge von 3½ Centimeter. Die längere Diagonale der rhombischen Endfläche gleicht 2,0 Centimeter.

§. 120. Der kleinere Plattensatz und das zur Zerlegung gebrauchte NICOLsche Prisma haben cylindrische Fassungen, die in eine Cylinderhülse, *q* Fig. 23 und 24, eingesteckt werden. Diese haftet centrirt an einer durchbrochenen, an der Peripherie getheilten Kreisscheibe *r* und kann hier um die Längsachse, (die der Achse des ganzen Instrumentes entspricht) gedreht und in einem beliebigen Azimuthe eingestellt werden. Mit ihr bewegt sich eine Alhidade *s*, die durch eine Klemmschraube an dem zu bestimmenden Orte befestigt zu werden vermag. Die Peripherie der fixen Kreisscheibe, deren Durchmesser etwas über 14 Centimeter beträgt, ist in Drittheile von Graden getheilt. Der mittelst einer Loupe ablesbare Nonius, der sich mit der Alhidade centrisch dreht, kann $^1/_{20}$ eines Theilstriches angeben. Man ist daher, theoretisch genommen, im Stande, den Werth des Azimuthes auf Minuten zu messen. Die Theilungsfehler und der unzweifelhaft etwas excentrische Gang der Alhidade müssen aber natürlich bei allen solchen Maassbestimmungen berücksichtigt werden.

Die feste Kreisscheibe haftet bei 180° der Theilung an einem viereckigen, mit einer Klemmschraube versehenen Halter, durch den sie an der Spitze des früher erwähnten getheilten viereckigen Messingstabes *ab* rechtwinkelig zu diesem und der Achse des Instrumentes befestigt wird. Die letztere durchsetzt dann den Mittelpunkt der durchbrochenen Kreisscheibe, der hohlen cylindrischen Fassung, welche die Alhidade trägt und die Achsen aller noch anzubringenden Prismen und Linsen.

§. 121. Nimmt man den grösseren Plattensatz als Polarisator und das Nicol als Analysator und befestigt beide seitlich (§. 114) an dem viereckigen getheilten Messingstabe, so hat man einen sehr weiten Spielraum. Man kann z. B. ohne alle Gefahr ein Kupfer-

blech einschalten, auf das man eine dicke viereckige Glasplatte stellt und das man von unten her mit der Lampe erwärmt. Die durch die Spannungen (§. 93) erzeugte wolkige, allmählig aufsteigende Welle und das dunkele Kreuz lassen sich dann bei gekreuzten Polarisationsebenen in aller Musse verfolgen. Der auf diese Art eingerichtete Apparat bringt überhaupt die Folgen der ungleichen Spannung durch Druck oder Erwärmung in jeder Hinsicht zur Anschauung. Will man die Versuche von DOVE[1] über die Umwandlung von linear polarisirtem Lichte durch elliptisches in kreisförmiges mittelst Temperaturänderungen wiederholen, so ist es zweckmässiger, das Nicol statt des Plattensatzes als Polarisator zu gebrauchen.

§. 122. Eine Concentrationslinse, *t* Fig. 23, von 7½ Centimeter Durchmesser und 33 Centimeter Hauptbrennweite dient gewöhnlich zur Sammlung der von dem Polarisator kommenden Strahlen. Eine in ihrer Mitte kreisförmig durchbohrte Messingscheibe, die an dem viereckigen getheilten Stabe in beliebiger Höhe befestigt wird, trägt eine schwarz geätzte, um ihren Mittelpunkt drehbare Scheibe, *u* Fig. 23, die mit 9 ungleich grossen und kreisförmig vertheilten Löchern versehen ist. Die Durchmesser von diesen steigen allmählig von 1 bis 38 Millimeter. Man kann jede der Oeffnungen durch Drehung der schwarzen Scheibe senkrecht auf der Achse des Instrumentes einstellen. Die Scheibe dient bei aufrechtem Stande des Apparates, um die zu untersuchenden Gegenstände aufzulegen und mit beliebigen Massen polarisirten Lichtes zu erleuchten.

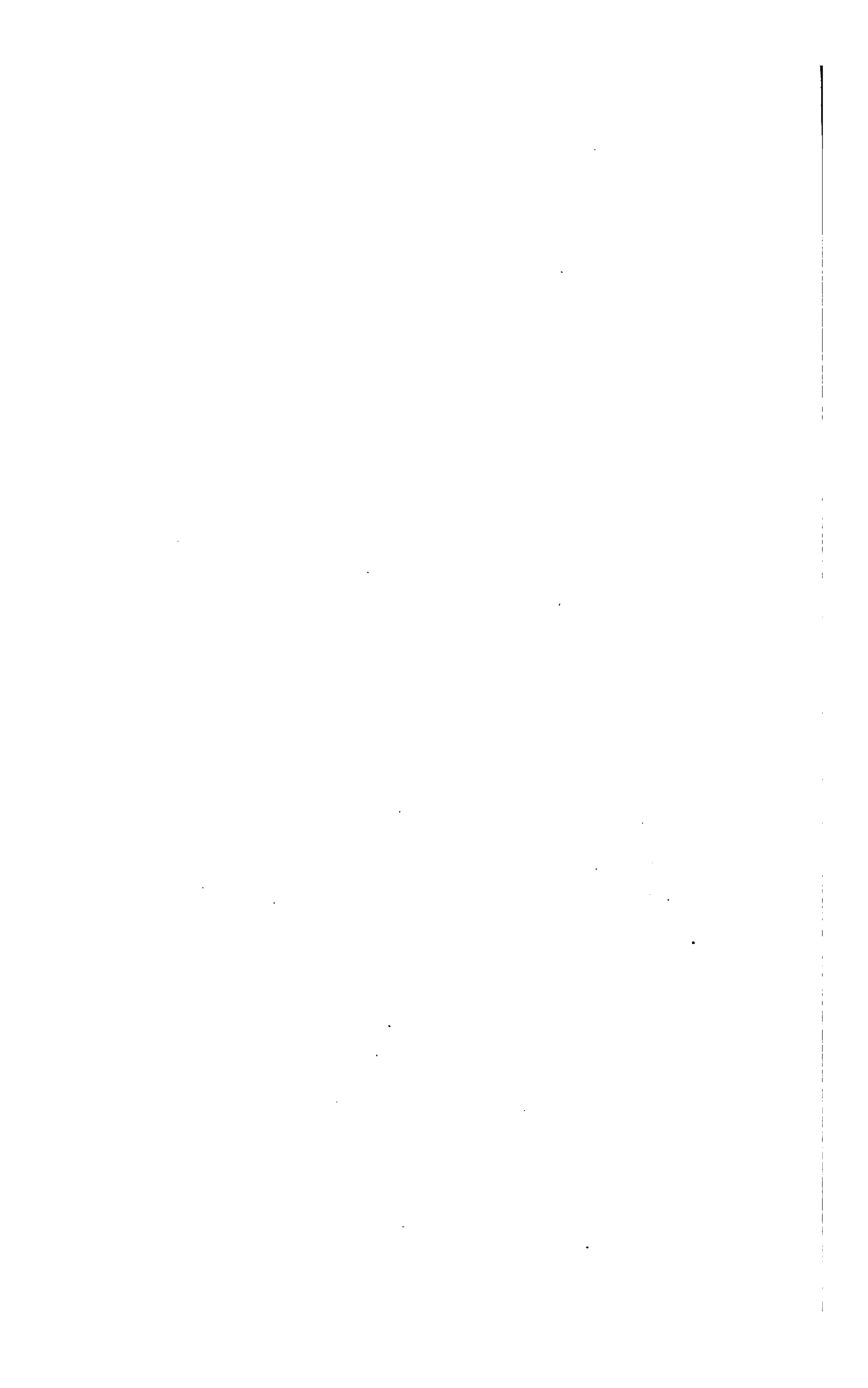
§. 123. Eine Klemmpincette, *v* Fig. 24, ist zur Aufnahme von Krystallplatten und anderen grösseren Polarisationspräparaten bestimmt. Sie lässt sich ebenfalls an dem viereckigen Messingstabe überall befestigen. Man kann sie in einem Kreise drehen und vor- oder rückwärts schieben und in jeder durch diese beiden

---

1. H. W. DOVE, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853, 8. S. 230—33.



Fig. 25.



gleichzeitigen Bewegungen möglichen Lage feststellen. Ein anderer Ansatz trägt eine doppelte Kreisscheibe, *w* Fig. 23, eine senkrechte und eine wagerechte. Jede von ihnen ist in 360° getheilt. Die wagerechte besitzt zwei mit Zeigern versehene Einsätze. Der eine (bei *w* gebrauchte) enthält eine kreisförmige Glasplatte, auf der zwei sich rechtwinkelig schneidende Durchmesser eingeritzt sind. Ihr Durchschnittspunkt wird von der Achse des Polarisationsapparates getroffen. Man kann so einen gegebenen Punkt eines zu untersuchenden Gegenstandes centriren, in seiner Ebene um die Achse des Instrumentes drehen und die Azimuthalstellung mittelst des Zeigers an der Theilung ablesen. Das zweite Einsatzstück, *x* Fig. 23, das in Einzelfällen statt des ersteren dient, besteht in einer durchbrochenen Scheibe mit vier rechtwinkelig gestellten, horizontal durchbohrenden spitzen Stahlstiften, die vor- und rückwärts geschoben und mit Schrauben festgeklemmt werden. Die bei aufrechter Stellung des Polarisationsapparates wagerechte getheilte Kreisscheibe lässt sich um den Mittelpunkt der senkrechten ebenfalls getheilten drehen und auch hier in jeder Stellung festklemmen. Man kann daher dem Präparate eine beliebige seitliche Neigung geben und den äusseren oder scheinbaren Achsenwinkel (§. 44) von ebenen Platten doppelt brechender zweiachsiger Körper, die senkrecht auf die Achse geschliffen sind, annähernd bestimmen.

§. 124. Die mit der Alhidade *s* versehene Kreistheilung, *r* Fig. 25, macht es möglich, die Drehung der Polarisationsebene rotirender Körper bis auf Minuten abzulesen (§. 120). Die Einschaltung von Platten fester Körper, welche diese Eigenschaft besitzen, ist natürlich durch die schon beschriebene Objectscheibe möglich gemacht. Man hat zunächst für Flüssigkeiten zwei von Duboscq gelieferte Röhren *y* von 12 und von 15 Millimeter Durchmesser und 10 und 4½ Centimeter Länge, die in Messinghülsen von 3½ Centimeter Durchmesser befestigt sind. Sie werden beiderseits durch eben geschliffene Glasplatten geschlossen, die sich mittelst durchbohrter Messingdeckel festschrauben lassen. Zwei besonders an dem viereckigen Messingstabe fixirbare Halter

tragen eine solche Röhre und zwar am sichersten bei wagerechter Stellung des Apparates. Die Achse des Instrumentes geht dann durch die Achse derselben. Ich liess noch kleine, den eben beschriebenen ähnliche Röhren mit seitlichen Ansätzen anfertigen. Sie gewähren den Vortheil, dass man den nachträglichen Verschluss einer der beiden wagerechten Platten durch den seitlichen Einguss vermeidet und so dem Uebelstande leichter entgeht, dass eine die Untersuchung störende Luftblase unter der oberen Glasplatte zurückbleibt. DUBOSCQ[1] verfertigt auch solche Röhren mit seitlich eingeschliffenen Glasröhren, um ein Thermometer in die Flüssigkeit einsenken zu können. Die schon früher erwähnten Zwischenstücke machen es möglich, dass man nach Belieben einen Doppelquarz, *v* Fig. 25 (§. 85), der die Uebergangsfarbe gibt, unter 22½ oder unter 45° gekreuzte Quarzplatten oder Quarzprismen für feinere Untersuchungen einschalten kann (§. 221. 222). Fig. 25 ist so hergestellt, als wollte man bei Lampenlicht beobachten. Man benutzt daher die weisse Hinterfläche *m* der umgelegten Spiegelplatte (§. 118).

Die nicht unbedeutende Länge des Messingträgers macht es möglich, dass man jedes Präparat bei convergentem und bei parallelem Lichte untersuchen kann, indem man die Trägerscheibe, *u* Fig. 23, hinauf- oder hinabrückt. Braucht man selbst den grösseren Plattensatz *i* als Polarisator, so hat man immer noch mehr als 30 Centimeter Spielraum, mithin mehr als für die mittlere Sehweite angenommen wird.

§. 125. Die wichtigste Zugabe bilden die von WILD berechneten Linsen. Sie gestatten verschiedene Combinationen und gewähren hierdurch wesentliche Vortheile, die aus der Beschreibung des Ganzen erhellen werden. Betrachten wir zunächst den gewöhnlichen Fall, bei welchem 10 durchsichtige Platten und das schwarze Spiegelglas als Polarisator *i* dienen, so werden dann 8 Linsen zur stärksten Combination gebraucht. Die Reihe, in der sie in der Richtung vom Polarisator zum Analysator folgen, ist:

---

1. J. DUBOSCQ, *Pratique du Saccharimètre Soleil.* Paris 1860. 8. Fig. 3.

Linsen.	In Millimeter ausgedrückte	
	Oeffnung.	Hauptbrennweite.
1. Die schon §. 122 erwähnte Concentrationslinse *I*	80	330
2. Die Linse *III*	28	35
3. Die Linse *A'*	20	18
4. Die Linse *B'*	8	10
5. Die Linse *B*	8	10
6. Die Linse *A*	20	18
7 und 8. Die Doppellinse *V*, zusammengesetzt aus zwei gleichen Linsen von	35	50

Alle Linsen besitzen doppelt convexe Oberflächen und sind so gefasst, dass man die wechselseitigen Entfernungen durch das Gewinde ändern kann. No. *III*, *A'* und *B'* befinden sich zusammen an einem Halter, der für die Convergenz- (β Fig. 23) und *B*, *A* und *V* an einem anderen, der für die Mikroskoplinsen (γ Fig. 23) bestimmt ist. Die Doppellinse *V* steckt in einer eigenen Hülse, die in einer zweiten, *A* und *B* tragenden mit Reibung auf- und niedergeht. Man kann daher *V* von *A* entfernen, um eine stärkere Vergrösserung herzustellen.

§. 126. Vier Combinationen sind im Ganzen möglich. Die Linse *I* bleibt in allen Fällen unverändert. Es wird dabei angenommen, dass die von dem polarisirenden Glassatze auf sie fallenden Strahlen nach einem 460 Millimeter entfernten Punkte convergiren und daher einen Winkel von 5° mit der Achse einschliessen.

§. 127. Erste Combination. Man gebraucht hier alle acht Linsen und hat für diese:

a. Convergenzlinsen. **In Millimetern.**

Abstand von *I* und *III*	127
Desgl. von *III* und *A'*	6,7
Desgl. von *A'* und *B'*	5

b. Mikroskoplinsen.

Abstand von *B* und *A*	5
Desgl. von *A* und der ersten Doppellinse von *V*	15
Gegenseitige Entfernung der optischen Mittelpunkte der Linsen in *V*	8

Der wechselseitige Abstand der optischen Mittelpunkte von *B* und *B'* oder der Raum, der, abgesehen von der Linsendicke und dem vorstehenden Theile der Fassung, für die Einschaltung der doppelt brechenden Platte übrig bleibt, beträgt 5 Mm.

Man hat hier ein reelles Bild der Interferenzcurven, das durch die gemeinschaftliche Wirkung von *B* und *A* erzeugt wird. Es fällt als Luftbild zwischen die Linse *A* und die Doppellinse *V* und wird durch diese von dem Auge, das sich in geringer Entfernung von der oberen Endfläche des analysirenden Nicols befindet, wie durch eine Loupe betrachtet. Der dem gesehenen Plattenpunkte vermöge der Wirkung aller Mikroskoplinsen conjugirte Vereinigungspunkt liegt 150 Millimeter von dem optischen Mittelpunkte der oberen Linse der Doppellinse *V* entfernt. Die Analyse kann auch hier, wie bei den folgenden Combinationen durch einen Plattensatz bewirkt werden.

Das theoretisch berechnete Gesichtsfeld ist 116°. Die in rothem Lichte betrachteten Pole einer senkrecht auf die Mittellinie geschnittenen Platte sächsischen Topases, deren äusserer Achsenwinkel 110° nach einer annähernden Messung betrug, lagen nahe an dem Rande des Gesichtsfeldes. Die einer senkrecht auf die Mittellinie geschnittenen Gypsplatte, deren scheinbarer Achsenwinkel zu 109° bestimmt worden, befanden sich weiter nach innen. Dieses galt noch mehr von einer ähnlichen Platte brasilianischen Topases, dessen Achsenwinkel kleiner, als der des sächsischen war[1].

---

1. Die Achsenwinkel wechseln häufig in hohem Grade in demselben Minerale, wenn es auch von dem gleichen Fundorte herrührt, wie der Glimmer, die

§. 128. Zweite Combination. — Wie die vorige. Nur werden die Linsen *B* und *B'* entfernt. Der für die zu untersuchende Platte frei bleibende Abstand von *A'* und *A* ist jetzt 17 Mm.

Das theoretische Gesichtsfeld beträgt 96°. Die Pole der zuletzt erwähnten Gypsplatte fielen erwarteter Maassen ausserhalb desselben. Das Gleiche wiederholte sich für die Platte brasilianischen Topases, nur mit dem Unterschiede, dass man hier noch beiderseits den Polen nähere Curvenstücke erkannte, als bei dem Gypse, der Achsenwinkel also, wie wir schon sahen, kleiner war. Eine Glimmerplatte, deren äusserer Winkel ungefähr 78° betrug[1], liess beiderseits einen bedeutenden Zwischenraum zwischen ihren Polen und dem Umkreise des Gesichtsfeldes übrig. Ich schätzte ihn zu 5° bis 8°. Dasselbe bestätigte sich für eine senkrecht auf die Mittellinie geschnittene Zuckerplatte, deren äusserer Winkel zu 78° 45' gefunden worden[2].

§. 129. Dritte Combination. Man entfernt die Linsen *A*, *B*, *A'*, *B'*, so dass nur noch *III* und die Doppellinse *V* übrig bleiben, schraubt aber an diese eine Linse *IV* von 30 Millimeter Oeffnung und 35 Millimeter Hauptbrennweite. *III* steht von der Concentrationslinse *I* um 127 Millimeter, wie früher ab und *IV* von dem optischen Mittelpunkte der ihm zugekehrten Linse der Doppellinse *V* um 18,6 Mm. Die gegenseitige theoretische Entfernung

Adulare vom Gotthard, der Orthos u. dgl. lehren. Ihre Grösse ändert sich überdiess bedeutend durch Aenderungen der Wärme, wie vor Allem der Gyps zeigt (§. 45). Man kann daher nicht aus den in optischen Abhandlungen angegebenen Achsenwinkeln auf die einer gegebenen Platte mit Sicherheit zurückschliessen. DES CLOIZEAUX (*Ann. des Mines. Cinquième Série.* Tome XI. Paris 1857. p. 319) z. B. bestimmte den äusseren Achsenwinkel für drei gelbe brasilianische Topase zu 72°, 81° 30' und 90° und den eines farblosen Topases aus Brasilien zu 120° 41' bis 121°. ÅNGSTRÖM (DES CLOIZEAUX a. a. O. p. 315) berechnete den inneren Achsenwinkel des Gypses zu 57° 31' bei 19° C. für die gelben Strahlen der Kochsalz-Weingeistflamme. Da der mittlere Brechungscoëfficient 1,52267 ist, so findet man hieraus 95° 48' für den scheinbaren Achsenwinkel (§. 44).

1. Wollte man das mittlere Brechungsverhältniss zu 1,613 annehmen, so würde ein äusserer Winkel von 78° einem inneren von 45° 16' entsprechen. Der letztere kann von 0° bis 70° im Glimmer wechseln.

2. DES CLOIZEAUX a. a. O. p. 336.

der optischen Mittelpunkte von *III* und *IV* ist 45,4 Mm. Der freie Spielraum, welcher z. B. für die zur Ermittelung des Achsenwinkels nöthige Drehung der Krystallplatte übrig bleibt, gleicht in der Wirklichkeit nur 13 Millimeter, weil jene berechnete Entfernung fordern würde, dass das Auge nur 35,6 Mm. von der Doppellinse entfernt sei, was der Fassung und des Zerlegers wegen nicht möglich ist.

Die Berechnung gibt 63° für das Gesichtsfeld. Eine Boraxplatte, deren mittlerer äusserer Winkel zu 59° von DES CLOIZEAUX[1] angegeben wird, hatte ihre Pole nahe dem Umkreise des Gesichtsfeldes.

§. 130. Vierte Combination. — Wie zuletzt. Nur wird die der Linse *IV* zugewandte Linse der Doppellinse *V* fortgenommen, so dass die andere von 50 Mm. Brennweite allein zurückbleibt. Das Auge muss hier beträchtlich weiter, als bei der dritten Combination entfernt sein. Die Länge des für die Platte freien Spielraumes gleicht 31 Millimeter. Das Gesichtsfeld ist wieder 63°, was auch die erwähnte Boraxplatte bestätigte.

§. 131. Will man das zweite Nicol, *p* Fig. 25, als Polarisator bei senkrechtem Stande des Apparates gebrauchen, so legt man die weisse Rückseite der grossen (Quecksilber-) Spiegelplatte, *m* Fig. 25 (§. 118), so unter, dass die Lichtstrahlen nach dem Nicol zurückgeworfen werden, schaltet die Concentrationslinse *I* ein und schraubt an die Unterseite der Convergenzlinsen eine Linse *II* von 37 Millimeter Oeffnung und 45 Millimeter Brennweite. Die durch die Linse *I* convergirend gemachten Strahlen durchkreuzen sich dann in einer Entfernung von 192 Millimeter in der Mitte des polarisirenden Nicol und treffen später divergirend die Linse *II* in einem Abstande von 90 Millimeter. Der optische Mittelpunkt der letzteren, die sie wiederum convergirend macht, ist von dem der Linse *III* um 25 Millimeter entfernt. Das Uebrige bleibt wie frü-

1. DES CLOIZEAUX a. a. O. p. 329.

her. Man kann auch die Linse *II* bei dem Gebrauche des Plattensatzes als Polarisator mit Nutzen anwenden.

Das Maximum des Gesichtsfeldes ist zwar bedeutend kleiner, als das des später zu erwähnenden Nörrenbergschen Polarisationsmikroskopes. Es erreicht selbst nicht vollständig das Gesichtsfeld des Apparates von Amici[1], welches Billet[2] zu 123° angibt. Die mannigfachen Combinationen dagegen, von denen die letzte mit 63° Gesichtsfeld einen weiten Spielraum für die Bewegung der Platte liefert, gewähren den Vortheil, dass man auch noch den Achsenwinkel kleiner Stücke annähernd bestimmen und Untersuchungen über die Lage der optischen Achsen selbst bei dem Gebrauche der Linsensysteme anstellen kann.

§. 132. Wir wollen nun, ehe wir weiter gehen, den Nutzen der Convergenzlinsen, die hier und in anderen ähnlichen Apparaten, wie denen von Airy, Amici und Nörrenberg, vorkommen, kennen lernen. Die Darstellung wird es auch, wie ich hoffe, rechtfertigen, dass ich diesen Namen für jene Einschaltungslinsen vorzuschlagen mir erlaube.

Nehmen wir an, wir hätten eine planplane Platte mn eines doppelt brechenden Körpers, die Interferenzcurven in dem Polarisationsapparate zeigt, so wird der äusserste Strahl sm mit Achse sp einen kleineren Winkel α bilden, als wenn wir mn dem Punkte s nähern, indem wir mn nach $m'n'$ versetzen und so den Winkel α zu β erweitern. Geht polarisirtes Licht durch die Platte hindurch und denkt man sich in s das mit einem Zerleger bewaffnete Auge, so empfängt dieses stark convergirende Strahlen $m's$ in dem zweiten und nahezu parallele ms in dem ersten Falle oder wenn mn weit absteht, mithin α bei wachsender Entfernung

Fig. 26.



1. Eine Abbildung desselben findet sich z. B. bei Harting, Das Mikroskop. Uebersetzt von Theile. Braunschweig 1859. 8. S. 850.

2. Billet, *Traité d'Optique physique*. Paris 1858. Tome I. p. 374.

sp so klein wird, dass man den Winkel der Null ohne merklichen Irrthum gleichsetzen kann. Da aber α und der Winkel *smp* einander zu einem Rechten ergänzen, so folgt hieraus, dass die äussersten Strahlen *sm* oder *sm'* schiefer gegen die Platte gerichtet sind, wenn α grösser ist und dass sie weniger geneigt erscheinen, sowie α kleiner ausfällt. Strahlen, welche die Platte schiefer durchsetzt haben, gelangen daher in das Auge bei grösserer Annäherung und nur solche, die weniger geneigt oder selbst beinahe parallel durchgingen, bei bedeutenderer Entfernung. Die Platte kann daher bei convergentem Lichte oder in geringerem Abstande und bei parallelem Lichte oder in grösserer Entfernung untersucht werden. Man nimmt schon das letztere an, wenn sie sich in der natürlichen mittleren Sehweite oder in einem Abstande von 24 Centimeter vom Auge befindet. Die erste Untersuchungsweise dient bei den Platten ein- oder zweiachsiger Körper, die zweite dagegen bei den gepressten oder gekühlten Gläsern. Die Gründe dieses Unterschiedes werden uns später (§. 243) klar werden.



Fig. 26.

§. 133. Der Gebrauch der Turmalinzange (§. 69) erklärt sich aus diesem Unterschiede. Hat man z. B. eine senkrecht auf die optische Achse geschnittene Platte eines einachsigen Körpers zwischen den beiden Turmalinen eingeklemmt, so kann man den Apparat dem Auge möglichst nahe bringen und daher sehr schiefe convergente Strahlen durch die Platte leiten. Man sieht daher auch dann die Ringe, wenn sie sonst in grösserer Entfernung, also bei weniger convergenten Strahlen noch nicht bemerkt werden, oder erkennt eine grössere Menge derselben, sobald sie auch in dem letzteren Falle auftreten. Ist die Platte *mn* sehr klein, so wächst natürlich der Winkel β nicht in gehörigem Maasse, die Strahlen gehen nicht schief genug durch, damit selbst der innerste Ring zum Vorschein komme. Es entsteht daher die Aufgabe, die Strahlen convergirender durch die Platte zu leiten, ein Problem, das eben durch

solche Convergenzlinsen gelöst wird. Sie erfüllen zugleich noch einen anderen Zweck in zweiachsigen Krystallen. Ist hier der Achsenwinkel irgend bedeutend, so erkennt man nur einen Pol nebst den zu ihm gehörenden Ringen in der Turmalinzange bei grösstmöglicher Annäherung an das Auge (§. 189 Fig. 42). Die Convergenzlinsen, die ein weites Gesichtsfeld herstellen, machen es möglich, dass man beide Pole gleichzeitig wahrnimmt, so lange die Grösse des inneren Achsenwinkels die in Winkelwerthen des Augenpunktes gemessene flächenhafte Ausdehnung des Sehgebietes nicht übertrifft.

§. 134. Die blosse Einschaltung einer doppelt convexen Linse, deren Hauptbrennweite ihrer Oeffnung gleicht, an passender Stelle zwischen Polarisator und Platte kann z. B. nach Reusch.[1] das Gesichtsfeld von 5^0 auf 60^0 58′ erhöhen. Eine Vergrösserung der Oberfläche des Polarisators und eine Verlängerung des Abstandes desselben von dem optischen Mittelpunkte begünstigen die Zunahme der Uebersichtsfläche. Die Einfügung mehrerer Linsen vermag das Gesichtsfeld bis 160^0 oder 170^0 wachsen zu lassen.

§. 135. Hat man eine Linse oder ein geeignetes Linsensystem über der Platte angebracht, so erzeugt sich ein reelles Bild in der entsprechenden Brennebene. Die äussersten Strahlen divergiren dann bei den kleinen Platten und den gewöhnlichen Einrichtungen zu stark, als dass sie noch zur Netzhaut durch das Sehloch gelangen könnten. Man setzt daher eine Loupe oder ein zusammengesetztes Ocular an, um sie convergenter zu machen und betrachtet mit ihm das Bild der ersten Linse[2]. Die Summe dieser Gläser gibt die Mikroskoplinsen.

§. 136. J. Herschel[3] brachte eine doppelt convexe Linse vor den Turmalinen, zwischen denen sich die Krystallplatte be-

1. Reusch, Amtlicher Bericht der 34. deutschen Naturforscherversammlung. Carlsruhe 1859. 4. S. 161.
2. Vgl. Reusch a. a. O. S. 162. 63.
3. Herschel, *Phil. Transact.* 1820. p. 98—100.

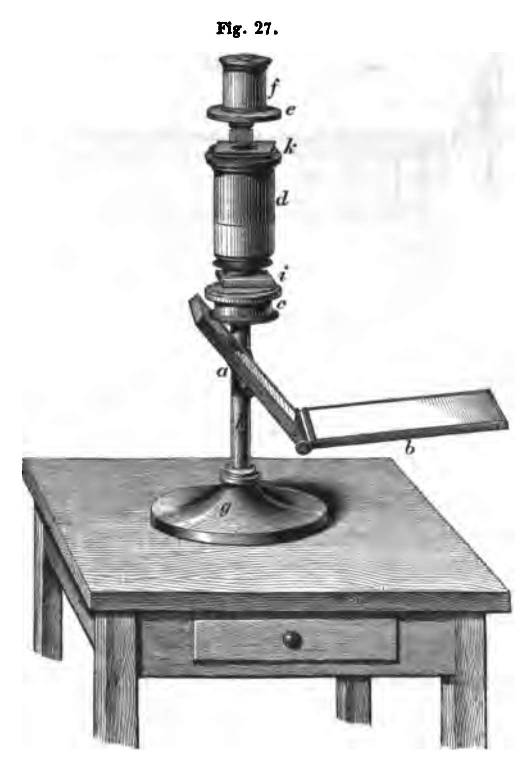
fand, so an, dass deren Brennpunkt auf die erste Oberfläche der hinteren Turmalinplatte fiel. Er konnte auf diese Art das reelle Bild der Curven auf einem Schirme auffangen und ausmessen[1]. Er bemerkt, dass er noch Ringe in Krystallstückchen wahrnahm, die nur $^1/_{100}$ engl. Zolles oder $^1/_4$ Millimeter Breite hatten. Airy[2] gibt an, dass er die Curven in Platten von $^1/_{20}$ engl. Zolles oder $1\,^1/_4$ Millimeter Durchmesser mittelst seines drei Sammellinsen von gleicher Brennweite enthaltenden Polarisationsmikroskopes erkenne. Eine senkrecht auf die Mittellinie geschliffene Aragonitplatte, deren Breite nur 1 Millimeter beträgt, zeigt mir in dem Wildschen Apparate einen Pol mit Hyperbeln und den entsprechenden Ringen bei dem Gebrauche der dritten oder der vierten und beide Pole und Hyperbeln nebst allen dazu gehörenden Curven mit der diesem Mineral eigenen Schärfe und Farbenpracht bei der Anwendung der ersten oder der zweiten Combination. Nehme ich eine grössere senkrecht auf die Mittellinie geschliffene Aragonitplatte und bedecke sie mit einem sonst undurchsichtigen Stanniolblatt, das mikrometrisch bestimmte Oeffnungen von $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ Millimeter hat, so sehe ich durch diese einen Pol mit Hyperbel und Ringen, wenn ich eine der drei ersten Combinationen benutze. Eine Salpeterplatte dagegen gibt schon hier die vollständige Figur ihres kleinen Achsenwinkels wegen. Gebrauche ich eine senkrecht auf die Achse geschnittene Titanitplatte in gleicher Weise, so erblickt man schon von der zweiten Combination an die Curven in ihrer prachtvollen Mannigfaltigkeit der Färbungen, wie sie hier wegen der grossen Verschiedenheit der optischen Achsen für die einzelnen Farben auftritt. Eine senkrecht zur Achse geschliffene Kalkspathplatte zeigt Kreuz und Ringe auf das Vollständigste durch eine jener kleinen Oeffnungen. Eine solche von Honigstein liefert wenigstens das Kreuz und eine von Phenakit dieses oder einen Abschnitt der brillanten Farbenringe je nach den verschiedenen Stellungen.

§. 137. Grailich[3] hat schon eine schematische Zeichnung

1. Herschel a. a. O. Tab. V. Fig. 6.
2. Airy, Pogg Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 261.
3. J. Grailich, Krystallographisch-optische Untersuchungen. Wien und Olmüz 1858. 8. S. 42. 43.

und eine Beschreibung eines Normalexemplares des NÖRRENBERGschen Polarisationsmikroskopes neuester Construction geliefert. Ein Spiegel führt hiernach die Lichtstrahlen durch eine Beleuchtungslinse zu dem polarisirenden Nicol. Der Convergenzapparat besteht aus vier Linsen, von denen die unterste $4\frac{1}{2}$, die mittlere 2 und die beiden obersten zusammen 3 Linien als Brennweiten haben. Die Mikroskoplinsen sind die gleichen, wie die Convergenzlinsen, nur in umgekehrter Ordnung. Ein zweites über ihnen stehendes Nicol besorgt die Zerlegung. Die zu untersuchende Platte kommt auf die obere ebene Fläche der höchsten planconvexen Linse des Convergenzsystemes und wird von der unteren ebenen Fläche der planconvexen Linse des Mikroskopsystemes fast berührt. Die übrigen sechs Linsen des Apparates sind doppelt convex. Die §. 134 erwähnte Arbeit von REUSCH hat vorzugsweise den Zweck, die allgemeine Wirkungsweise des NÖRRENBERGschen Polarisationsmikroskopes klar zu machen.

Fig. 27.



§. 138. Das Instrument, dessen ich mich bediene, besitzt einen unter dem Polarisationswinkel aufstellbaren Spiegel, *a* Fig. 27, dem die Lichtstrahlen durch einen zweiten ebenfalls drehbaren Spiegel *b* zugeleitet werden. Das Convergenzsystem *c* besteht aus

einer doppeltconvexen und zwei planconvexen Linsen, das Mikroskopsystem *d* aus drei ähnlichen Linsen und einer doppelt convexen Ocularlinse. Ein an einer wagerechten Kreistheilung *e* drehbares Nicol *f* bildet den Zerleger. Dieser, das Mikroskop- und das Convergenzsystem können jeder für sich an einer höheren oder tieferen Stelle des Stabes *h* des Trägers *g* eingestellt werden. Man sieht eine untergelegte Krystallplatte in *i* und ein für die circulare Analyse (§. 16) eingeschaltetes ¼ Glimmerplatte in *k*.

Fig. 27.



Eine ausserordentliche Schärfe und Helligkeit der Bilder und ein sehr ausgedehntes Gesichtsfeld zeichnen das Instrument auf das Vortheilhafteste aus. Die Pole einer senkrecht auf die Mittellinie geschliffenen Platte des in rothem Lichte untersuchten Seignettesalzes (Rocheller Salzes, *Tartarus natronatus*), das einen inneren Winkel von 76° und einen mittleren Brechungscoëfficienten von 1,4929 nach des Cloizeaux[1] hat, dessen äusserer Achsenwinkel daher 133° 36′ gleichen würde, liegen noch Etwas von dem Umkreise jederseits entfernt. Da Brewster[2] den wahren Achsen-

1. des Cloizeaux a. a. O. p. 321.
2. Brewster, *Phil. Transact.* 1818. p. 231 u. Herschel, Vom Licht S. 666.

winkel zu 80° angibt, so würde der scheinbare auf 147° 20′ steigen. Ebenso sehe ich noch die Pole einer Platte von chromsauerem Kali ein wenig vom Rande jederseits entfernt. Man kann daher ohne Uebertreibung annehmen, dass das von mir benutzte Instrument ein Gesichtsfeld liefert, das zwischen 140° und 150° liegt. Das ursprüngliche NÖRRENBERGsche besitzt sogar nach GRAILICH[1] 170°.

Bedecke ich eine Aragonit- oder Zuckerplatte mit dem §. 136 erwähnten Stanniolblättchen, das Oeffnungen von 1/8 bis 1/10 Millimeter hat, so sehe ich die zwei Pole mit den Hyperbeln und den Curven so vollständig wie an der grössten Platte. Dasselbe wiederholt sich an kleinen Splittern von Perlmutt. Es ist keine Frage, dass dieser NÖRRENBERGsche Apparat alle anderen bis jetzt bekannten Vorrichtungen an Ausdehnung des Gesichtsfeldes weit übertrifft.

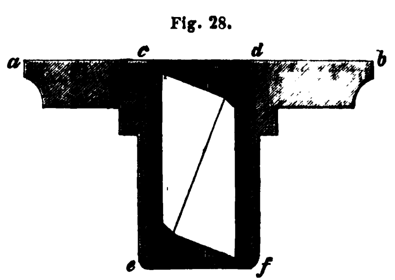
§. 139. Man hat die Mikroskope seit TALBOT[2] mit einem Polarisator und einem Zerleger versehen, um sie auch für die Untersuchung kleiner Theile in polarisirtem Lichte brauchbar zu machen (§. 232 Fig. 62). Zwei Nicol dienen in der Regel diesem Zwecke, weil sie die durch die Gangunterschiede des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles der Prüfungsgegenstände bedingten Interferenzfarben nicht ändern oder, wie man sich nicht ganz richtig ausdrückt, farblose Bilder liefern. Dieses gilt jedoch nicht mehr von dem äussersten Umkreise. Denn sieht man schief durch den Analysator, so können sich die Grenzbänder (§. 80) auf den mikroskopischen Gegenstand projiciren.

§. 140. Die Fassung des unteren oder des polarisirenden Nicols wird in der Regel an der Unterseite des Objecttisches so angeschraubt, dass es bis zu einer bezeichneten Grenze angelangt seine Polarisationsebene in einer beabsichtigten Richtung hat und zugleich centrirt ist, d. h. seine Achse mit der gleich dahingehenden der Objectiv- und der Ocularlinsen zusammenfällt. Da die ge-

1. GRAILICH a. a. O. S. 43.
2. TALBOT, Pogg. Ann. Bd. XXXV. 1835. S. 330.

wöhnliche Untersuchung nicht nöthig hat, diese letztere Bedingung scharf einzuhalten, so liess ich mir das Nicol *ghik*, wie es Fig. 28 im Längendurchschnitte zeigt, fassen (*abfe*). Man kann dann dasselbe Prisma in die Oeffnung des Objecttisches eines einfachen oder zusammengesetzten Mikroskopes einsetzen, die Scheibe *ab* als Objectträger benutzen und hat, was die Hauptsache ist, den Gegenstand so nahe als möglich am Nicol, so dass die Störung durch seitliches, zwischen der Oberfläche des Prisma und der Unterseite des Objectglases eindringendes nicht polarisirtes Licht besser vermieden wird. Will man es in dem Objecttische aufrecht oder umgekehrt (§. 232 Fig. 62 *b*) befestigen, so vollführt man dieses mit etwas aus Terpentin, Wachs, Kolophonium und Kirschgummi bestehenden Klebwachse, das sich kalt behandeln lässt. Das Nicol würde die Erwärmung des Canadabalsams wegen nicht vertragen.

Fig. 28.



§. 141. Die Optiker haben die verschiedensten Stellen dem analysirenden Nicol angewiesen. Es befindet sich z. B. nahe über den Objectivlinsen in manchen grösseren Chevalier'schen und Oberhäuser'schen Mikroskopen und kann hier mit dem Rohre um 360° oder mittelst eines eine Spalte durchsetzenden Hebels um 90° gedreht werden. Brücke[1] verwirft diese ein grösseres Sehfeld darbietende Einrichtung, weil man stark abblenden muss, um ein ganz dunkeles Gesichtsfeld bei rechtwinkeliger Kreuzung der Polarisationsebenen beider Nicol herzustellen, und daher zu viel an Lichtstärke verliert. Mohl[2] findet einen Vortheil darin, dass man das Auge unmittelbar an das Ocular bringen und daher das Sehfeld mit Bequemlichkeit überblicken kann. Der Hauptübelstand liegt aber nach ihm darin, dass die Einschaltung eines so massenhaften,

1. Brücke, Denkschriften der Wiener Akademie. Bd. XV. Wien 1858. 4. S. 69.

2. Mohl, Pogg. Ann. Bd. CVIII. 1859. S. 181. 82.

mit keinen absolut ebenen Flächen versehenen Körpers zwischen Ocular und Objectiv der Bildschärfe schadet. Die Betrachtung des allgemeinen Ganges der Lichtstrahlen durch das Mikroskop und das was früher (§. 77) über den Bau des Nicols und die gänzliche Zurückwerfung gesagt worden, können uns theoretisch von selbst erläutern, unter welchen Bedingungen jene Einrichtung viel und unter welchen sie wenig schaden wird. Wir wollen aber früher die Erfahrung befragen und einige Thatsachen kennen lernen, die mir die Prüfung eines grossen Oberhäusers ergab, in dem das zerlegende Nicol nahe über den Objectivlinsen unter sehr ungünstigen Nebenverhältnissen eingeschaltet war.

§. 142. Ich könnte nicht sagen, dass die definirende Kraft oder das Begrenzungsvermögen und die penetrirende Kraft oder das Durchdringungsvermögen[1] irgend wesent-

1. Die Schärfe der Ränder des Mikroskopbildes, welche für ein genügendes Begrenzungsvermögen zeugt, kann nur dann auftreten, wenn die Abweichungen wegen der Farbenzerstreuung und besonders wegen der Kugelgestalt keine bedeutende Grösse erreichen. Der durch ein Missverständniss von den Fernröhren auf die Mikroskope übertragene Ausdruck der penetrirenden Kraft oder des Durchdringungsvermögens (Siehe z. B. Harting a. a. O. S. 250) bezeichnet die Fähigkeit, feine dicht neben einander liegende Gebilde, vorzugsweise bei der Untersuchung in durchfallendem Lichte zu unterscheiden. Man beging meiner Ueberzeugung nach ein grosses Unrecht gegen manche der besten Optiker, die sich mit der Anfertigung von Mikroskopen beschäftigen, als man die Güte der Instrumente danach schätzen wollte, welches Liniensystem der Nobertschen Prüfungsplatte sie aufzulösen im Stande seien. (Ueber diese Platten siehe z. B. Pohl in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie Bd. XL. Wien 1860. S. 81—97.) Da diese Linien und ähnliche Zeichnungen erst durch Schatten auf der Netzhaut, also durch negative Bilder kenntlich zu werden pflegen, so folgt, dass die Art der Beleuchtung von entscheidendem Gewichte für die Erkenntniss sein wird. Man weiss in der That, dass ein gutes Mikroskop von Plössl die Linien bei der älteren Stellungsweise des Beleuchtungsspiegels nicht auflöste, dieses aber vollführte, nachdem der gelenkige neu angebrachte Ansatz eine seitliche schiefe Beleuchtung möglich machte. Diese ist es auch, die man z. B. bei Nachets Mikroskopen mittelst einer eigenen Linse herstellt, um die sämmtlichen Linienzeichnungen von *Pleurosigma angulatum* wahrzunehmen, obgleich die Beobachtung derselben ohne dieses Hilfsmittel bei einzelnen Linsen von Ross oder Smith und Beck (Mohl, Botanische Zeitung 1858. S. 271) und von Hartnack (M. Schultze, Verhandl. d. naturforsch. Ges. d. preuss. Rheinlande. Bd. XVII. 1860. S. 21) möglich ist. Ich habe

liche Unvollkommenheiten in Vergleich mit der gewöhnlichen Untersuchungsart darboten, wenn die Polarisationsebenen der Nicol parallel standen, das Gesichtsfeld also hell war. Die Randbegrenzungen der verschiedensten Gegenstände stellten sich mit genügender Schärfe dar. Nahm ich die Objectivsysteme No. 8 und 9 und ein beliebiges Ocular von No. 2 bis No. 5, so zeigten sich immer die Querstreifen an den Schüppchen der Flügel von *Hipparchia Janira* in völlig befriedigender Deutlichkeit trotz des höchst unzureichenden Lichtes eines nebeligen Herbstnachmittages.

Anders dagegen verhielt es sich mit den Helligkeitsgraden des Gesichtsfeldes. Keine Stellung des analysirenden Nicols konnte ein völlig dunkeles Gesichtsfeld bei dem Gebrauche eines beliebigen Oculares oder Objectives hervorrufen. Das Maximum der Verdunkelung lieferte eine grauweisse Dämmerung, in der man die gewöhnlichen Polarisationsbilder gut erkannte, die sich aber zur Entscheidung feinerer Punkte nicht eignete. Selbst die Einschaltung einer Blendung, deren Oeffnung nur $^1/_{10}$ Millimeter im Durchmesser hatte, half wenig gegen diesen Uebelstand. Eingeführte und unter $\pm 45^0$ orientirte Gypsblättchen oder Präparate organischer Körper lieferten weit mattere Farben, als bei dem Gebrauche eines gewöhnlichen guten Polarisationsapparates.

übrigens eine alle Streifensysteme in gewöhnlichem Lichte zeigende Linse von NACHET ebenfalls erhalten. Man irrt aber sehr, wenn man ein Mikroskop nach einem solchen Kunststücke beurtheilt. Die Grundlage desselben ist die Bedingung, dass jene Eintauchungslinse eine weite Oeffnung (170°) habe. Dieses passt für die wenigsten mikroskopischen Gegenstände.

Ich gebrauche seit Jahren die eingetrockneten Spermatozoiden des Bären als Prüfungsgegenstände. Die kugelförmigen Theile, die ich früher aus den frischen Gebilden der Art beschrieben habe, können auch hier noch erkannt werden. Man sieht dann ein wagerechtes aus dunkelen rosenkranzförmig zusammenhängenden Kugeln bestehendes Querband ungefähr in der Mitte des Körpers, bemerkt ähnliche Kugelzeichnungen dicht vor dem Ansatze des Schwanzes und noch eine, aber nur unter den allergünstigsten Verhältnissen an dem Vorderende des Körpers. Diese Bilder, die an allen eingetrockneten Spermatozoiden des Bären ohne Ausnahme vorkommen und denen ähnliche Spuren auch in den gleichen Theilen des Kaninchens und des Meerschweinchens auftreten, erscheinen bei allen möglichen Combinationen eines kleinen Kellner weit deutlicher, als in jedem anderen von mir geprüften Mikroskope ersten Ranges. Derselbe Kellner aber lässt keine Spur von Linien an *Pleurosigma angulatum* wahrnehmen.

§. 143. Man hätte alle diese Uebelstände voraussagen können. Der Gegenstand, den wir unter dem zusammengesetzten Mikroskope deutlich erkennen, der sich, wie man sagt, im Focus befindet, liegt zwischen der einfachen und der doppelten Hauptbrennweite des Gesammtsystemes der Objectivlinsen und zwar in unmittelbarer Nähe der ersteren. Die Strahlen, welche durch diese treten, divergiren an der anderen Seite der Objectivlinsen und liefern ein reelles, umgekehrtes und vergrössertes Bild. Das Collectiv des Oculares macht sie convergenter. Wir betrachten endlich das durch sie erzeugte Bild mit der Ocularlinse wie mit einer Loupe[1]. Versetzt man den Zerleger nicht weit von den Objectivlinsen, so wird er von einem Theile oder von allen divergenten Strahlen getroffen. Wir haben aber §. 80 gesehen, dass der Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung des ordentlichen Strahles 14° bis 18° für die Achse des Nicol beträgt. Divergiren die von den Objectivlinsen heraufkommenden Strahlen unter einem etwas grösseren Winkel, so lässt das Nicol nicht bloss ausserordentliche, sondern auch ordentliche Strahlen durch, die entgegengesetzt polarisirt sind (§. 38). Jene geben aber bei gekreuzten Polarisationsebenen ein dunkeles und diese ein helles Gesichtsfeld. Daher die oben erwähnte Dämmerung. Die Farben, welche Gypsblättchen oder andere doppelt brechende Körper bei gekreuzten Polarisationsebenen der Nicol liefern, ergänzen die, welche bei parallelen Ebenen erscheinen, zu weissem Lichte. Daher die matteren Färbungen.

§. 144. Die Frage, wann die von den Objectivlinsen ausgehenden Strahlen den Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung überschreiten, kann ganz allgemein nicht beantwortet werden. Lassen wir die Wirkung des Oculars bei Seite, so erreicht man starke Vergrösserungen auf zweierlei Wegen, indem man ein langes Mikroskoprohr anwendet und daher die Divergenz der Strahlen durch die Länge des Weges erhöht oder die Linsen so schleift, dass die Strahlen aus ihnen divergirender austreten. Der letztere Fall

1. Siehe z. B. die Schemenzeichnungen bei A. HANNOVER, *De la construction et de l'emploi du Microscope*. Paris 1855. 8. p. 46. Fig. 16 und HARTING a. a. O. S. 134. Fig. 65.

ist natürlich für das in der Nähe befindliche analysirende Nicol gefährlich, und stark vergrössernde Linsen können, wie wir sahen, eine solche Divergenz hervorrufen, dass selbst eine beträchtliche lichtschwächende Blendung nicht zum Ziele führt. Die Einführung der äussersten Strahlen durch das Collectiv wird aber in Fällen, die nicht so ungünstig sind, ohne sehr durchgreifende Störungen ertragen. Die Absorption des Lichtes durch das Nicol und die Zurückwerfung an der unteren Fläche erklären die hier vorkommenden Erscheinungen nicht und sind, wie wir sahen, verhältnissmässig unbedeutend.

§. 145. HARTING [1] schraubt die Röhre, in der sich das analysirende Nicol befindet, an das untere Ende des Oculars. Gebraucht man ein grosses Prisma, so wird nach diesem Forscher das Gesichtsfeld nur wenig eingeschränkt. Man kann hier den Analysator mit dem Ocularrohre drehen, während HARTNIG CHEVALIERsche Mikroskope, wie es scheint, ausschliesslich in Händen hatte, in denen das analysirende Prisma dicht über den Objectivlinsen fix angebracht war und man daher die Unbequemlichkeit hatte, den Polarisator wenden zu müssen.

Die Gefahren, welche die Divergenz der Strahlen erzeugt, fallen hier geringer aus, wenn das Nicol nur einen mässigen Theil des Querschnittes des Mikroskoprohres durchsichtig lässt, d. h. als eine hoch oben angebrachte Blendung mit nicht grosser Oeffnung wirkt. Die Diaphragmen, die sich in dem Rohre meines grössten SCHIEKschen Mikroskopes befinden, machten es möglich, dass ich selbst umfangreichere Nicol, z. B. ein solches von 14 Millimeter kürzeren und 17 Mm. längeren Durchmessers der schiefen Endfläche unmittelbar unter dem Collectiv oder nahe am Ende des zweiten Drittheiles des Rohres von oben an gerechnet einsetzen konnte. Ich nahm hierbei keine Störungen wegen des Durchtrittes ordentlicher Strahlen neben den ausserordentlichen wahr. Die Bildschärfe litt ein wenig bei der gewöhnlichen Beobachtungsweise und fast gar nicht, nachdem man ein Gypsblättchen (von Roth erster

1. HARTING a. a. O. S. 849.

Ordnung) eingeschaltet hatte. Der erstere Uebelstand liesse sich durch eine Correctionslinse beseitigen.

§. 146. Ich kann keinen Vortheil in der Anwesenheit des analysirenden Nicols an irgend einer Stelle des Mikroskoprohres finden. Will man nicht den Polarisator entfernen, so muss man die zur ersten Orientirung nöthige Durchforschung mit den in jedem Falle beschränkten und lichtärmeren (§. 83) Gesichtsfelde des analysirenden Nicols, das auch der Vergrösserung Eintrag thun kann, vornehmen. Bringt man dieses dagegen, wie schon TALBOT[1] empfahl, über dem Oculare an, so kann man das Präparat ohne oberes Nicol durchsuchen, den Gegenstand oder den Punkt desselben, den man prüfen will, in hellem Lichte in dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes (dem Kreuzungspunkte der Mikrometerfäden) einstellen und dann erst das Nicol aufsetzen.

§. 147. Wir haben §. 82 die Gründe kennen gelernt, wesshalb das FOUCAULTsche Prisma kürzer und wohlfeiler als das NICOLsche ist, dafür aber etwa nur den vierten Theil des tauglichen Gesichtsfeldes des letzteren darbietet. Es kann desshalb als Polarisator benutzt ordentliche Strahlen neben den ausserordentlichen leichter durchlassen. Fände eine bedeutende Lichtabsorption durch den Kalkspath statt, so würde die grössere Kürze des Foucault nützlich werden. Da aber jenes nicht der Fall ist, so kann höchstens als Empfehlungsgrund übrig bleiben, dass man sich FOUCAULTsche Prismen von bedeutendem Querschnitt zur Hälfte des Preises, wie gleich grosse Nicol verschafft.

§. 148. Ich prüfte zwei Foucault, von denen jedes 33 Millimeter als längeren und 27 Mm. als kürzeren Durchmesser der rhombischen Endfläche hatte. Stellte ich eines als Polarisator auf den Objecttisch des Mikroskopes und gebrauchte ein Nicol als Zerleger, so sah ich die Polarisationsbilder der Stärkmehlkörner oder der Knochenblätter in befriedigender Weise, überzeugte mich aber

1. TALBOT, Pogg. Ann. Bd. XXXV. 1835. S. 330.

zugleich, dass keine Stellung des Analysators ein so tiefes Dunkel in dem Gesichtsfelde und den schattigen Orten der Präparate hervorrief, als wenn ich das Foucault mit einem Nicol in der gleichen Stellung vertauschte. Da die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung schon bei 4° 23′ in jenem eintritt (§. 82), so können die von dem Beleuchtungsspiegel bis zu dem Objecttische heraufkommenden Strahlen eine grössere Divergenz leicht erreichen. Schaltete ich das FOUCAULTsche Prisma zwischen dem Objecttische und dem Spiegel ein, so wurde diesem Uebelstande zu einem grossen Theile abgeholfen. Gebrauchte ich dann das zweite Foucault zur Zerlegung, so erschien das Gesichtsfeld sehr eingeschränkt. Ich sah das ordentliche Bild neben dem ausserordentlichen bei irgend schiefem Hineinblicken, was sich natürlich bei der Anwendung eines Nicols als Polarisator wiederholte. Man wird daher höchstens ein FOUCAULTsches Prisma von grosser Oberfläche zur Polarisation verwenden können, wenn man die Strahlen parallel oder sehr wenig divergirend einzuleiten vermag, es aber nie zur Zerlegung mit Vortheil gebrauchen.

§. 149. Da jede Art von Polarisator und Analysator nur die halbe Lichtstärke an und für sich wiedergibt (§. 83) und noch neue Verluste durch Reflexion oder Absorption hinzukommen, diese endlich am Mikroskope vermöge der Zurückwerfung an dem Beleuchtungsspiegel erhöht werden, so liegt es nahe, alle jene Uebelstände durch eine ursprüngliche sehr helle Beleuchtung herabzusetzen. Der unmittelbare Gebrauch des Sonnenlichtes eignet sich für das Polarisationsmikroskop eben so wenig, als für das gewöhnliche Mikroskop. Lampen- oder Gaslicht ersetzt hier nie helles gleichartiges Tageslicht, das vor Allem gebraucht werden soll. Man darf auch nicht vergessen, dass die erstgenannten Lichtarten, die schon an und für sich immer eigenthümlich gefärbt sind (§. 166), andere Spectra als das Sonnenlicht geben und daher leicht verwirrende Farben in den Bildern einzelner mikroskopischer Präparate hervorrufen können. Das diffuse, durch einen Milchglasschirm erzeugte Licht liefert das verhältnissmässig beste Beleuchtungsmittel bei dem Gebrauche einer gewöhnlichen Lampe.

§. 150. HARTING[1] verbindet seinen Beleuchtungsapparat mit dem Polarisationsmikroskope. MOHL[2] empfiehlt den Querdurchmesser der rhombischen Endfläche des polarisirenden Nicols senkrecht auf der Drehungsachse des Beleuchtungsspiegels einzustellen und einen Condensator zur Concentration des Lichtes auf dem zu untersuchenden Gegenstande zwischen beiden anzubringen. Er fand, dass sich ein solcher, der aus drei Linsen bestand, achromatisch war, 3 Linien Brennweite und einen grossen Oeffnungswinkel hatte und sich in der Richtung der Mikroskopachse verschieben liess, am besten bewährte. Eine von AMICI empfohlene farblose halbkugelförmige Flintglaslinse von 5 Linien Durchmesser, deren convexe Seite man nach unten kehrte, leistete das Gleiche bei dem Gebrauche gewöhnlichen Tageslichtes, nicht aber im Sonnenlichte. Man kann schon ohne solche Zwischenapparate sehen, dass der Kieselpanzer von *Pleurosigma angulatum* das Licht doppelt bricht, nicht aber dann die Liniensysteme erkennen. Die gewöhnlichen leichteren Polarisationsbilder lassen sich auch ohne Condensator wahrnehmen.

§. 151. Gebrauche ich lichtstarke Mikroskope, wie die von SCHIEK oder KELLNER, so kann ich die Polarisationsbilder der Stärkmehlkörner, der Tüpfelgefässe der Zapfenbäume, der Knochen, der Nerven, der Muskelfasern in dem Dämmerlichte des Spätnachmittages eines regnerischen oder nebeligen Wintertages ohne Anstrengung erkennen. Es versteht sich aber von selbst, dass eine Lichtverstärkung durch einen Condensator für schwierige Gegenstände oder schwache Augen willkommen ist.

§. 152. Was die zweckmässigste Stellung des polarisirenden Nicols betrifft, so wird eine nähere Betrachtung überzeugen, dass man hierüber keine allgemeine Regeln aufstellen kann. BREWSTER entdeckte, dass das von dem Himmel zurückgeworfene Licht theilweise polarisirt ist und zwar in einer Ebene, die durch

1. HARTING a. a. O. S. 849.
2. MOHL, Pogg. Ann. Bd. CVIII. 1859. S. 181—83.

die gesehene Himmelsstelle, die Sonne und das Auge oder in einer hierauf senkrechten Ebene, die das Auge und die Himmelsstelle durchsetzt. Dieses Licht, das also in einer bestimmten Ebene schwingt, wird von dem Beleuchtungsspiegel nach dem Polarisator zurückgeworfen. Die Stellung der Einfallsebene in Bezug auf die Polarisationsebene des vom Himmel kommenden theilweise polarisirten Lichtes wird es bestimmen, ob und wie viel von jenem polarisirten Lichte und unter welchem Azimuthe die Polarisationsebene desselben (§. 34) zu dem Nicol gelangt. Bedenkt man, dass alle diese Verhältnisse mit dem Orte der Sonne wechseln, so kann schon desswegen keine allgemeine Regel für die Aufstellung des Nicols gegeben werden. Die Reflexion des Beleuchtungsspiegels polarisirt das Licht um so mehr, je näher der Zurückwerfungswinkel dem Polarisationswinkel oder, wie wir bald sehen werden, der Ergänzung desselben zu 90^0 steht. Da die Polarisationsebene der Einfallsebene parallel in dem ersteren und auf ihr senkrecht in dem letzteren Falle ist, so wird hier die Neigung des Beleuchtungsspiegels den Ausschlag geben, wie die der Polarisationsebene des Nicols entsprechende längere Diagonale der rhombischen Endfläche des Nicols für die günstigsten Verhältnisse dieser Strahlen eingestellt werden soll. Man wird daher kaum je einen Fall in der Wirklichkeit haben, in dem nicht ein kleiner Theil der polarisirten Strahlen das Nicol nicht durchdringen kann. Die Erfahrung lehrt übrigens, dass hierdurch kein irgend schädlicher Lichtverlust herbeigeführt wird. Ein anderer Umstand dagegen ist von grösserer Wichtigkeit. Stellt man die schiefe obere Endfläche des polarisirenden Nicols so auf, dass sie nach der Lichtseite gekehrt ist, so wirft sie leicht eine nicht unbedeutende Menge gewöhnlichen und nach der Reflexion nur theilweise polarisirten Lichtes in das Mikroskop zurück. Man muss daher das untere Nicol so richten, dass seine geneigte obere Endfläche von der Seite, die das hellste Licht liefert, abgewendet ist.

§. 153. Die leichteren Polarisationsbilder, z. B. die der Stärkmehlkörner oder der Eiweisszellen von *Phytelephas macrocarpa* Endl. lassen sich ohne besonderen Polarisator durch den Beleuch-

tungsspiegel allein zum Vorschein bringen. Hat dieser die nöthige Excursionsweite, so kann man sogar das Bild, das man bei parallelen und dasjenige, welches man bei gekreuzten Polarisationsebenen des Nicol hat, durch blosse Wendung des Spiegels erzeugen. Wir wollen annehmen, dieser drehe sich, wie in den gewöhnlichen Mikroskopen, nur um die wagerechte quere Achse und nicht seitlich. Das analysirende Nicol stehe so, dass die längere Diagonale seiner schiefen Endfläche von vorn nach hinten geht, seine Polarisationsebene also der des Strahles, der senkrecht vom Beleuchtungsspiegel heraufkommt, parallel ist, wenn dieser für den Polarisationswinkel (§. 29) eingestellt worden. Hat man ihm diese Stellung gegeben, so sieht man natürlich das weisse Kreuz der Stärkmehlkörner. Nun drehe man den Spiegel, der gegen den bewölkten Himmel gerichtet ist, allmählig nach oben, so dass sich der Einfallswinkel der Strahlen immer mehr verkleinert. Das Polarisationsbild wird nach und nach undeutlicher und sinkt endlich auf ein Minimum der Warnehmbarkeit herab. Dreht man weiter und gelangt so zu dem Einfallswinkel, der den Polarisationswinkel zu einem Rechten ergänzt, so geben die Stärkmehlkörner das schwarze Kreuz mit den hellen Feldern, mithin das Polarisationsbild, das nicht, wie das helle, den parallelen, sondern den rechtwinkelig gekreuzten Polarisationsebenen entspricht. Man benutzt jetzt nicht den unmittelbar zurückgeworfenen, sondern den zuerst im Glase des Spiegels gebrochenen, an der Hinterseite zurückgeworfenen und dann austretenden Strahl, der rechtwinkelig in Bezug auf den ersten polarisirt ist (§. 28). Dieses zweite Bild lässt sich an vielen Mikroskopen allein oder leichter als das erste herstellen, weil dann die Strahlen eher nach der Achse des Instrumentes zurückgeworfen werden. Denkt man sich dieses senkrecht aufgestellt, so gleicht der Einfallswinkel der Strahlen dem Winkel, den die Verlängerung der Spiegelebene mit dem Horizonte macht[1]. Man kann daher die beiden günstigsten Stellungen des Beleuchtungsspiegels mit Hilfe eines Transporteurs sogleich bestimmen.

---

1. Sei *ab*, Fig. 29, die Richtung der Mikroskopachse, *cd* die des Spiegels und *ef* eine der Achse parallele Linie, die auf der Horizontalen *gh* senkrecht

§. 154. Ersetzt man den Quecksilberspiegel durch einen Glasspiegel, so dass die Erzeugung elliptisch polarisirten Lichtes (§. 28) hinwegfällt, so erlangt man bisweilen wesentlich bessere Bilder. Nehme ich z. B. den schwarzen Glasspiegel aus dem WILDschen Polarisationsapparate (§. 116) als Polarisator und ein Nicol als Analysator, so kann ich mindestens eben so gute, wo nicht schönere Polarisationsfiguren in den Stärkmehlkörnern darstellen, als mit dem oben erwähnten Oberhäuser, in dem das analysirende Nicol dicht über den Objectivlinsen angebracht ist (§. 141). Lege ich 2 bis 5 Platten des kleineren Plattensatzes über den schwarzen Spiegel, so werden die Bilder noch befriedigender. Man könnte daran denken, Mikroskope so einzurichten, dass der gewöhnliche Spiegel mit einem Plattensatze vertauscht wird, wenn die Entfernung von jenem und dem Objecttische nicht gross ist. Man würde etwas an Lichtstärke gewinnen, aber immer nur theilweise polarisirtes Licht bei der Beschränktheit der zu gebrauchenden Plattensätze erhalten. Ich muss es dahingestellt sein lassen, ob eine gute Glimmersäule, die sich in ein kleineres Volumen bringen lässt (§. 33), Besseres leisten würde. Ich erhalte endlich noch schöne Bilder, wenn ich den grösseren Plattensatz des WILDschen Apparates (§. 116) als erstes Reflexionsmittel benutze, die von ihm zurückgeworfenen Strahlen auf den gewöhnlichen Beleuchtungsspiegel des Mikroskopes gelangen und von ihm wieder unter dem Polarisationswinkel durch das letztere treten lasse.

§. 155. Ein schief gestelltes BREWSTERsches Prisma (§. 73) ist in manchen französischen Mikroskopen statt des analysi-


Fig. 29.



steht. Diese werde von der geradlinigten Verlängerung von cd in h geschnitten. bi sei senkrecht auf cd, bilde also das Einfallsloth. Der Einfallswinkel α gleicht dem Reflexionswinkel α'. Folglich $\alpha + \beta' = 90^0$ und $\beta' = 90^0 - \alpha''$. Daher $\alpha = \alpha''$. Hieraus folgt, dass α und α'' gleich gross und nach entgegengesetzten Seiten gewendet sind. Macht man den Versuch mit dem Transporteur, so wird man in der That finden, dass man das helle Kreuz am deutlichsten sieht, wenn man $\alpha'' = 56^0$ und das dunkele, wenn man $\alpha'' = 34^0$ genommen hat.

renden Nicols angebracht. Ein Instrument der Art, das ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, besass die Einrichtung, dass man nur bei dem Gebrauche von Ocular No. 1 ein einfaches, bei den übrigen Ocularen dagegen das ordentliche und das ausserordentliche Bild neben einander aber getrennt erhielt. Das Gesichtsfeld war ziemlich schwarz bei gekreuzten Polarisationsebenen und die Farben eingeschalteter Gypsblättchen besassen keinen geringen Grad von Lebhaftigkeit. Die Einrichtung kann daher für die gewöhnliche gröbere Untersuchung, nicht aber für die Entscheidung feinerer Punkte gebraucht werden. Sie ersetzt die Wirkung eines guten Nicols in keinem Falle.

§. 156. Die grüne oder die rothe Farbe der den gewöhnlichen Strahl verschluckenden Turmaline und die grünliche des Herapathits (§. 70) hindern natürlich, Platten solcher Körper am Mikroskope zu gebrauchen, wenn es auf die Interferenzfarben ankommt. Fällt diese Nebenbedingung hinweg, so kann man sie in Einzelfällen mit Vortheil benutzen. Ich könnte nicht rathen, einen Turmalin als Polarisator anzubringen. Grüne oder rothe Plättchen von einem Millimeter Dicke lassen zwar keine merklichen Mengen ordentlicher Strahlen mehr durch (§. 69). Sie erzeugen aber eine so grosse Dunkelheit des Gesichtsfeldes, dass die Anschauungen nur noch bei schwächeren Vergrösserungen deutlich bleiben. Es gibt dagegen Fälle, in denen eine Turmalinplatte als Analysator gebraucht wesentliche Dienste leistet. Da sie im Verhältniss zum Nicol dünn ist, so übersieht das unmittelbar über ihr gehaltene Auge ein weit grösseres Gesichtsfeld. Will ich mich z. B. über die Curven, die eine Platte der Krystalllinse des Auges gibt, bei der ersten Untersuchung unterrichten, so bringe ich das Präparat unter ein einfaches Mikroskop, in das ein Nicol mit der Fig. 28 S. 94 abgebildeten Fassung eingesetzt ist und analysire mit einer grünen Turmalinplatte, die ich wenigstens nach den mir zu Gebote stehenden Exemplaren zweckmässiger als eine rothe fand[1]. Der Ver-

1. Das Entgegengesetzte wird von HERSCHEL angegeben. Vom Licht. S. 449.

gleich mit einem Nicol fällt bei solchen Gelegenheiten zu dessen Ungunsten aus.

§. 157. Der sehr hohe Preis irgend grosser Herapathitplatten hindert die Anwendung derselben an vielen Instrumenten. Ich bediene mich aber der leicht herzustellenden kleinen Blättchen (§. 72) in eigenthümlicher Weise. Habe ich die grössten von ihnen in Canadabalsam zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen, so gebrauche ich sie als verschiebbare Polarisatoren. Ich stelle den mikroskopischen Gegenstand nach Ansetzung des Analysators ein und benutze daher ein helleres Licht, als wenn schon ein Polarisator vorhanden wäre. Nun schiebe ich die Glasplatten, zwischen denen die Herapathitplättchen eingeschlossen sind, unter dem Objecte vorwärts. Stärkmehlkörner zeigen auf der Stelle die Kreuze, sowie sich z. B. unter ihnen ein Herapathitplättchen von weniger als 0,7 Millimeter Länge, 0,2 Millimeter Breite und passender Dicke befindet.

§. 158. Es ist bisweilen wünschenswerth, das ordentliche und das ausserordentliche Bild, also das helle und das dunkele Gesichtsfeld neben einander zu haben. Ich erwähnte schon früher, dass ich es für keinen Nachtheil halte, wenn das zur Analyse dienende Nicol diese Unvollkommenheit darbietet (§. 81), weil man Gegenstände, die schwache doppelt brechende Kräfte besitzen, auf dem hellen Gesichtsfelde leichter, als auf dem dunkelen findet. Das Brewster'sche Prisma (§. 155) und die freilich die Vergrösserung merklich herabsetzende Haidinger'sche Loupe (§. 66) können das Gleiche liefern. Das ordentliche und das ausserordentliche Bild liegen natürlich hier weit auseinander auf den beiden vollkommen getrennten Gesichtsfeldern. Will man sie aber unmittelbar neben einander haben, so kann ich, wenn man eine kleinere Entfernung braucht, ein gutes Wollaston'sches Quarzprisma (§. 67) und, wenn ein grösserer Abstand vorgezogen wird, ein achromatisirtes Kalkspathprisma (§. 64) nach eigener Erfahrung anrathen. Es lässt sich schon theoretisch erwarten, dass das bei dem Leeson'schen Goniometer gebrauchte

Kalkspathprisma wegen zu grosser Nähe der Bilder und ein Fresnelsches Bergkrystallparallelepiped (§. 86) mit seinen zwei entgegengesetzt circularpolarisirten Strahlen minder gute Dienste leisten wird. Die Beobachtung hat mir Beides bestätigt.

§. 159. Da der Gedanke nahe liegt, Convergenzlinsen (§. 132) bei dem zusammengesetzten Mikroskope anzuwenden, so wollen wir die in Betracht kommenden Hauptfälle einzeln durchnehmen. Die theoretische Erwartung wird auch hier durch die Erfahrung vollkommen gerechtfertigt.

§. 160. Wir sahen schon früher (§. 132), dass Körper, die durch innere Spannungen doppelt brechend geworden, wie gepresste oder gekühlte Gläser, die Polarisationsfiguren in parallelem Lichte am deutlichsten zeigen. Die Convergenzlinsen haben daher hier keinen besonderen Zweck zu erfüllen. Betrachtet man einen gekühlten Glascylinder mit den Mikroskop- und den Convergenzlinsen des Wildschen oder des Nörrenbergschen Apparates, so erblickt man nicht mehr, als wenn man ihn ohne Weiteres zwischen zwei Nicol bei parallelem Lichte prüft. Wir werden später finden, dass die Ringe, welche getrocknete Linsenpräparate zeigen, von inneren Spannungen herrühren und der folgende Abschnitt wird uns ein Mittel kennen lehren, durch das wir die Zahl der Ringe bei der Untersuchung vergrössern können. Prüfen wir aber solche Linsenplatten unter den Linsensystemen von Wild oder Nörrenberg, so erhalten wir kein anderes Bild als bei der gewöhnlichen Beobachtung. Da die Convergenz- und die Mikroskoplinsen jener Apparate kleine Krümmungshalbmesser haben, so entsteht eine bedeutende sphärische Abweichung. Das Linsenbild leidet hierdurch und erscheint nach oben gekrümmt.

§. 161. Die Polarisationsfiguren der für jene Convergenzlinsen geeigneten Körper werden mit einem schwach vergrössernden Mikroskop in dem Wildschen und dem Nörrenbergschen Instrumente betrachtet. Es fragt sich daher nur noch, ob und wann es zweckmässig ist, ein stark vergrösserndes zusammengesetztes Mi-

kroskop statt jener Vergrösserungslinsen anzuwenden. Ich kann dieses auf zweierlei Wegen bewerkstelligen. Bedient man sich der ersten Linsencombination des WILDschen Apparates (§. 127), so fällt das Luftbild der Mikroskopobjective zwischen die Linse *A* und die Doppellinse *V*. Man kann aber die letztere entfernen und jenes Luftbild mit einem isolirten Mikroskoprohre aufnehmen. Ein zweites Mittel besteht darin, dass man die Convergenzlinsen von WILD oder von NÖRRENBERG allein zwischen dem Polarisator und dem Gegenstande in einem beliebigen Mikroskope einschaltet. Führe ich das letztere an dem WILDschen Apparate durch, während sich eine senkrecht auf die Achse geschliffene Kalkspathplatte über dem Systeme der Convergenzlinsen befindet, so sehe ich auf das Deutlichste Kreis und Ringe, wenn ich z. B. den kleineren durchsichtigen Plattensatz (*k* Fig. 23 S. 76) unter dem Polarisationswinkel über dem Ocular anbringe. Man erkennt aber nur eine geringe Anzahl von Ringen des kleinen Gesichtsfeldes wegen. Denn je stärker das Mikroskop vergrössert, um so geringer wird das dem mikroskopischen Sehfelde entsprechende wirkliche Areal des Gegenstandes. Hieraus folgt, dass es in diesem Falle geradezu unzweckmässig ist, ein schwächeres Mikroskop mit einem stärkeren zu vertauschen.

§. 162. Betrachten wir Stärkmehlkörner oder verdickte Eiweisszellen von *Phytelephas*, indem wir das Luftbild des WILDschen Apparates mit einem KELLNERschen Mikroskope aufnehmen oder die Convergenzlinsen von WILD oder von NÖRRENBERG in ein SCHIEKsches einschalten, so sehen wir nicht mehr, als sonst. Die im fünften Abschnitte dargestellten Verhältnisse werden uns diese Erfahrung begreiflich machen. Man würde aber sehr irren, wenn man hieraus schliessen wollte, dass der Gebrauch von Convergenzlinsen überhaupt bei starken Vergrösserungen nichts nütze. Es gibt kleine Gegenstände, für deren Untersuchung sie fruchtbar werden. Man weiss, dass die dem Kalkspathe ähnlichen Massen von kohlensauerem Kalke, welche die äussere Schicht der Schale von *Unio* und *Anodonta* bilden, aus dicht zusammengestellten Prismen bestehen. Der Querschliff eines jeden von ihnen zeigt ein Polarisa-

tionskreuz unter starken Vergrösserungen, wie wir im fünften Abschnitte ausführlicher sehen werden, manche sogar Ringe. Nimmt man solche, in welchen die letzteren fehlen, und schiebt z. B. die Convergenzlinsen von NÖRRENBERG zwischen dem Polarisator und dem Objecte, ohne dass dieses verrückt wird, ein, so treten die Ringe auf der Stelle auf. Der Gebrauch dieses Hilfsmittels wird also nur für diejenigen mikroskopischen Gegenstände nützlich sein, bei denen die schiefere Durchleitung der Strahlen die Polarisationsbilder vervollständigt.

Dritter Abschnitt.

Benennungen und Nebenapparate.

§. 163. Viele Bestimmungen fordern, dass man den **Azimuth** oder den in einer horizontalen Durchschnittsfläche gemessenen Neigungswinkel einer senkrechten seitlich veränderlichen Ebene gegen eine senkrechte feste Ebene kennt. Wir denken uns zu diesem Zwecke eine Kreistheilung, die in jener wagerechten Durchschnittsfläche liegt und deren Mittelpunkt *c* Fig. 30 von der Achse des Polarisationsinstrumentes durchsetzt wird, so dass er dem Scheitel des hier anzugebenden Winkels entspricht. Es kommt dann nur auf die Bestimmungen der Lage der Durchmesser in Bezug auf den als fest gedachten Durchmesser, dessen Endpunkte 0⁰ und 180⁰ sind, an. 0⁰ sei vorn bei senkrechter und oben bei wagerechter Stellung des Polarisationsapparates. 90⁰ sehe nach der rechten Seite in beiden Fällen.

Fig. 30.

Ein Durchmesser z. B., der die Azimuthalgrade 45° und 225° trifft, ist unter diesem Verhältnisse schon bestimmt, wenn wir ihn nur mit 45° bezeichnen. Man brauchte daher nur die zwischen 0° und 180° liegenden Grade für alle möglichen Angaben zu berücksichtigen. Wir können aber diesen Umfang der Beziehungen auf die Hälfte oder einen Quadranten zurückführen, wenn wir das rechte Viertheil 0° bis 90° positiv und das linke 0° bis 270° negativ nehmen. Dann liegen alle möglichen Bezeichnungen zwischen 0° + 90° und 0° und —90°, welcher letztere Werth dem früheren 270° entspricht. —45° vertritt in diesem Falle den Durchmesser, dessen Enden den Werthen 315° und 135° glichen.

Fig. 30.



§. 164. Viele organische Theile bestehen aus Fasern, andere aus Häuten oder Schichten, die eben ausgebreitet oder concentrisch eingerollt sind. Die meisten der doppelt brechenden Gewebe können als einachsige Körper angesehen werden. Eine beharrlich durchgeführte Ausdrucksweise, die wir für die auf einander senkrechten Hauptrichtungen der optischen Achse einachsiger Körper annehmen wollen, wird uns in der Folge die Bezeichnungen und die Schlüsse wesentlich erleichtern.

Fig. 31.



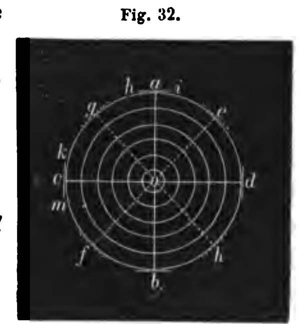
Wir denken uns die Faser schematisch als einen geraden elliptischen Cylinder *abcd* Fig. 31, der auf seiner Grundfläche aufgestellt worden. Die Längsrichtung *ad* ist der Achse *ef* parallel und steht auf der Grundfläche senkrecht. Wir wählen daher für sie diesen letzteren Namen. Die Breite *cd* entspricht der längeren und die Dicke *gh* der kürzeren Achse des elliptischen Querschnittes. Wir stellen uns vor, die Breitenrichtung *cd* sei an die Oberfläche versetzt. Sie

wird dann zur Tangente des Berührungspunktes. Wir nennen sie daher tangentiell. Ginge der elliptische Cylinder in einen kreisförmigen über, so würde sich die Richtung der Dicke in die eines Durch- oder Halbmessers verwandeln. Wir bezeichnen sie daher als die radiale.

Wir können uns eine jede Haut so vorstellen, als sei der elliptische Cylinder der Faser durch Berührungsflächen in ein Parallelepiped von geringer Dicke übergegangen. Wir lassen dann die senkrechte und die tangentielle Richtung in die durch die Längen- und Breitenrichtung bestimmte Oberfläche und die radiale in die Dickendimension fallen. Die letztere steht hier auf den beiden ersteren vollkommen senkrecht.

Ist eine Anzahl von Häuten oder Lagen concentrisch geschichtet, so denken wir sie uns immer in unserem Schema als die Mäntel von Kreiscylindern. Der Querschnitt gestaltet sich daher wie es Fig. 32 zeigt. Die senkrechte Richtung ist parallel der Achse. Wir können uns daher vorstellen, dass sie auf der Ebene des Papieres im Mittelpunkte *o* senkrecht steht. Eine beliebige Berührungslinie ***hi*** oder ***km*** gibt die tangentielle und ein jeder Halbmesser *oa, oe, od* die radiale Richtung. Diese beiden stehen natürlich auf einander senkrecht. Allein die radialen Richtungen sind nicht parallel, wenn man sich eine concentrische Schicht, wie eine Haut eben ausgebreitet denkt. Die Abweichung wird um so grösser, je kleiner der Krümmungshalbmesser oder je bedeutender die Krümmung ist.

Fig. 32.



§. 165. Da das weisse Licht aus einer Mischung aller farbigen Strahlen besteht, so arbeitet man immer mit verwickelten Bedingungen, so wie man diese Lichtart gebraucht. Es ist daher von Vortheil einfarbiges, monochromatisches, gleichartiges homogenes, oder reines Licht anzuwenden. Zwei Wege können zum Ziele führen, einfachfarbige Flammen im dunkelen Zim-

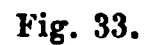
mer oder die Einschaltung monochromatischer Glasschirme, sogenannter Ueberfanggläser.

§. 166. Brewster[1] machte auf die keine Spur von Roth oder Orange enthaltende gelbe Farbe der Weingeistflamme, für die er eine eigene Lampenform vorschlug, aufmerksam und hob bei dieser Gelegenheit hervor, dass sich ein solches gelbes Licht für gewöhnliche mikroskopische Untersuchungen zur Erkenntniss feiner Einzelheiten besser eignet, als achromatische Linsen. Die Chromasie fällt natürlich dann von selbst hinweg. Ich habe später mehrfach auf die Vortheile des gelben, von messingenen Lampenschirmen zurückgeworfenen Lichtes für feinere mikroskopische Beobachtungen aufmerksam gemacht. Die günstige Wirkung, die Brücke bei dem Gebrauche von Marien- oder Uranglas als Objectträger gefunden hat, dürfte sich weniger aus der Fluorescenz als aus der gelbgrünen Farbe in durchfallendem Lichte erklären. Ein käufliches Objectglas der Art, das ich zu prüfen Gelegenheit hatte, hat meinen Erwartungen nicht entsprochen.

§. 167. Das gewöhnliche Verfahren, dessen man sich bedient, um gelbe Flammen für Beobachtungen herzustellen, besteht darin, dass man den Docht der zu gebrauchenden Weingeistlampe mit Kochsalz (oder Salpeter) abreibt. Eine kleine Weingeistlampe reicht für rasch beendete Prüfungen, die kein grosses Gesichtsfeld fordern, aus. Sonst nehme ich eine Berzelius'sche Lampe, die ich mit Weingeist fülle und deren Docht ich vorher einige Stunden in einer gesättigten Kochsalzlösung liegen liess und hierauf vollständig trocknete. Die gelbe Farbe einer solchen Kochsalz-Weingeistflamme ist kein reines Gelb, wie oft behauptet wird[2], sondern enthält noch Violett[3]. Sie liefert dessenungeachtet das beste bis jetzt bekannte sogenannte einfarbige Licht. Wir werden später sehen, dass es Polarisationsbilder gibt, die nur in ihm und nicht in dem Lichte eines Ueberfangglases erkannt werden.

1. Brewster, Pogg. Ann. Bd. II. 1824. S. 101. 102.
2. Herschel, Vom Licht. S. 266.
3. Wilde, Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. 1853. S. 204.

§. 168. Die feineren rothen, durch Kupferoxydul (unter Zusatz von Zinnoxyd) gefärbten Ueberfanggläser oder die sogenannten Rubin- oder Purpurgläser nehmen die erste Stelle nach der Kochsalz-Weingeistflamme ein, weil sie die meisten übrigen Farben fast gänzlich ausschliessen. Man prüft sie am besten, indem man durch sie ein durch Sonnenlicht und ein Prisma entworfenes Spectrum betrachtet. Man nennt das Glas gleichartig oder homogen, wenn es scheinbar nur die rothen Strahlen durchlässt. Diese Eigenschaft kann bei verschiedenen Arten der rothen Färbung vorkommen. Allein selbst die besten Sorten halten nicht alle gelben und selbst nicht grüne Strahlen ab, wie eine genauere Prüfung lehrt. Zwei Rubingläser, die ich für die Untersuchungen über organische Gewebe gebrauchte, drehten die Polarisationsebene um $20^0\ 0'$ und $20^0\ 36'$ für einen Millimeter Quarzdicke im Mittel aus je 10 Bestimmungen (§. 90). Gute Kobaltgläser stehen den rothen am nächsten. Die Gleichartigkeit ist aber immer hier noch geringer. Man findet viel leichter genügende Rubin- als irgend befriedigende Kobaltgläser. Da die Länge der Fahrstriche der Polarisationscurven mit der Wellenlänge wechselt, folglich in rothem Lichte grösser, als in blauem ausfällt, so bedient man sich mit Vortheil einer Einschaltungsplatte von der Anordnung Fig. 33, deren eine Hälfte *a* ein Rubinglas und deren andere *b* ein Kobaltglas besitzt. Jenes drehte im Durchschnitt aus 15 Einzelbestimmungen die Polarisationsebene von 1 Mm. Quarzdicke um $20^0\ 32'$ und dieses um $39^0\ 45'$, in der Vorrichtung, deren ich mich bediene und die wir in der Folge unter dem Namen des doppelten Ueberfangglases anführen werden. Das Roth sollte also hier zwischen *C* und *D* des Spectrum und das Blau im Indigo *G* näher als *F* (§. 90) liegen. Doch rührt der hohe Werth des Roth grossentheils von beigemengten gelben Strahlen her. Manche dunkelviolette Gläser können noch mit Nutzen bei Polarisationsuntersuchungen gebraucht werden. Die orangefarbenen, die gelben und die grünen dagegen lassen ein so gemischtes Licht durch, dass sie wenig Belehrung zu geben pflegen.


Fig. 33.



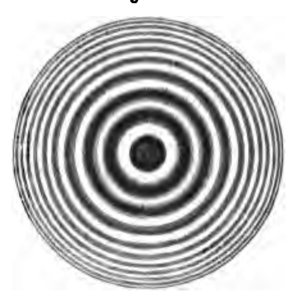
§. 169. Man vergleicht häufig die Polarisationsfarben oder die entoptischen Farben im engeren Sinne mit den Farben der NEWTONschen Ringe oder den entoptischen Farben überhaupt, zu denen auch die dünnen Blättchen gehören. Diese entstehen durch die Interferenz zweier aus derselben Lichtquelle stammender Strahlen, die Gangunterschiede wegen ungleicher durchlaufener Wegstrecken darbieten. Die Differenz kann aber dadurch bedingt werden, dass der erste Strahl an der vorderen, der zweite dagegen erst an der hinteren Fläche eines Körpers zurückgeworfen wird, dann durch Brechung an der vorderen austritt und so eine ausgedehntere Bahn durchsetzt. Man hat daher Farben bei Betrachtung des reflectirten Lichtes. Sie ist auch dadurch möglich, dass der erste Strahl nach der ersten Brechung durch den Körper an der entgegengesetzten Fläche austritt, der zweite dagegen ihn erst nach zwei Reflexionen, einer an der zweiten und dann einer an der ersten Oberfläche desselben verlässt, mithin wieder einen längern Weg durchläuft. Dieses gibt die Farben, welche bei der Betrachtung in gebrochenem Lichte auftreten. Man unterscheidet daher auch die Farben der NEWTONschen Ringe in zurückgeworfenem oder reflectirtem von denen in gebrochenem oder durchgelassenem Lichte. Da die letzteren lichtschwächer sind, so erkennt man hier die einzelnen Abstufungen mit geringerer Deutlichkeit. Die Mischung beider an den einander entsprechenden Stellen gibt Weiss aus den bald zu erläuternden Gründen (§. 176).

§. 170. Der Mikroskopiker kann sich die NEWTONschen Ringe zur Anschauung bringen, wenn er die beiden Gläser eines Compressoriums möglichst stark znsammenpresst. Die Physiker pflegen sie zur Demonstration durch ein Verfahren darzustellen, dessen sich schon NEWTON[1] bediente. Man drückt eine sphärische Glaslinse von geringer Krümmung oder grossem Krümmungshalbmesser, z. B. das Objectiv eines Fernrohres gegen eine ebene Glas-

1. J. NEWTON, *Opticks. Second Edition.* London 1718. 8. p. 172.

platte oder eine planconvexe Linse[1]. Der Berührungspunkt liefert dann den Mittelpunkt, von dem aus der zwischen beiden Glasmassen befindliche, mit Luft gefüllte Spaltraum an Höhe oder, wie man zu sagen pflegt, an Dicke zunimmt. Beobachtet man nun in einfarbigem Lichte, so sieht man eine Menge concentrischer abwechselnd heller und dunkeler Ringe (Fig. 34) oder, richtiger gesagt, Ringe, von denen jeder ein Maximum oder ein Minimum von Lichtstärke in der Mitte seiner Dicke hat. Diese Stellen werden auch zu genaueren Maassbestimmungen der Halbmesser der Ringe benutzt. Zwei aus derselben Lichtquelle stammende Wellen von gleicher Farbe löschen sich vollständig aus oder geben die Helligkeit Null, wenn ihr Gangunterschied ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt, oder sich die eine Amplitude (§. 12) wie ein positiver und die andere wie ein gleich grosser negativer Werth verhält und sich daher beide bei der Addition aufheben. Sie geben das Maximum der Helligkeit oder die doppelte Lichtstärke, wenn die beiden gleichen Amplituden dasselbe Vorzeichen haben. Dieses geschieht, so wie der Gangunterschied ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt. Die letztere wechselt aber mit der Farbe. Die Orte der dunkelen und der hellen Kreise verrücken sich daher am meisten, wenn wir z. B. das rothe Licht mit violettem vertauschen. Ein dunkeler Ring in zurückgeworfenem Lichte entspricht immer einem hellen im gebrochenen und umgekehrt.

Fig 34.



§. 171. Ersetzen wir jetzt das einfarbige Licht durch weisses, so haben wir ursprünglich eine Mischung aller farbigen Strahlen an jedem Punkte. Da aber jeder der unendlich dünn gedachten

---

1. Siehe z. B. die Abbildung des senkrechten Durchschnittes mit der Angabe der Farben bei NEWTON a. a. O. Book II. Plate I. Fig. 3, copirt bei BIOT, *Traité de Physique expérimentale et mathématique.* Tome IV. Paris 1816. 8. Pl. I. Fig. 8. Experimentalphysik. Uebersetzt von FECHNER. Bd. V. Leipzig 1829. 8. Taf. XVII. Fig. 5.

Kreisringe als Function der Wellenlänge nur für eine einzige Farbe entstehen kann, so bleibt bei dem Auslöschen der letzteren ein alle übrigen Farben enthaltender Rest. Nun besitzen die verschiedenen Farben ungleiche Lichtstärken. Die, welche in dieser Hinsicht am meisten begünstigt ist, wird auch vom Auge bevorzugt. Das Ganze gibt eine entsprechende Mischfarbe. Wir erhalten auf diese Weise einen gefärbten statt eines dunkelen Ringes. Da aber der helle Ring des einfarbigen Lichtes diesem letzteren gerade entgegengesetzt ist, so kehrt auch hier das Gleiche wieder. Es tritt daher für ihn die Ergänzungsfarbe auf, indem die Mischfarbe ausgelöscht wird und die früher unterdrückte Farbe bleibt. Man hat mit einem Worte Ringe mit Ergänzungsfarben im zurückgeworfenen und im gebrochenen Lichte. Diese Darstellung passt aber nur für mathematische Punkte, wie sie unser Auge nicht sieht. Wir überblicken eine unendliche Zahl derselben, die natürlich sämmtlich verschieden gefärbt sind, auf ein Mal. Nun wechselt die Art und die Feinheit der Farbenerkenntniss von einem Menschen zum andern. Die aufgefasste Mischfarbe kann daher von der von der Theorie geforderten abweichen und sich selbst mit der Verschiedenheit der Beobachter ändern.

§. 172. Da die Interferenzfarbe von dem Gangunterschiede der zusammentreffenden Strahlen abhängt, so werden immer andere Färbungen zum Vorschein kommen, wenn die Höhe des Spaltraumes, der die NEWTONschen Ringe erzeugt, wechselt. Die Farben sind aber um so blasser und ununterscheidbarer, je grösser die Dicke des Interferenzkörpers ausfällt, wie ja auch nur dünne Blättchen die chromatische Interferenz bedingen. NEWTON[1] bestimmte zuerst die einzelnen in seinen Ringen auftretenden Färbungen und theilte sie in sieben Ordnungen. Er berechnete zunächst die ihnen entsprechenden Dicken für den Fall, dass atmosphärische Luft in dem Spaltraume enthalten ist und später für die äquivalenten Höhen von Wasser und von Glas. Alle diese Werthe sind von ihm in Milliontheilen eines englischen Zolles angegeben worden[2]. Die

1. NEWTON a. a. O. 173. 74.
2. NEWTON a. a. O. p. 206.

erste, niederste oder tiefste Ordnung liegt unmittelbar am Mittelpunkte und die siebente oder höchste am weitesten im Umkreise. Das Steigen einer Farbe besteht in dem Uebergange aus einer tieferen in eine höhere Ordnung und das Fallen oder Sinken in dem umgekehrten Gange.

§. 173. Die von NEWTON gegebenen Farbenbestimmungen und entsprechenden Spaltdicken[1] sind erst in neuester Zeit theilweise berichtigt worden. WILDE[2] fand, dass der an der Berührungsstelle liegende Mittelpunkt nicht, wie man annahm, im zurückgeworfenen Lichte dunkel, sondern hell ist. Das erstere tritt nur dann ein, wenn keine vollständige Berührung stattfindet, sich also noch eine dünne Luftschicht in der Mitte einschaltet. Untersucht man die Farben doppelt brechender Körper im Polarisationsapparate, so soll man der allgemeinen Annahme gemäss bei Veränderungen derselben einen Wechsel erhalten, der dem der NEWTONschen Farben entspricht. Das ausserordentliche Bild geht hierbei parallel den NEWTONschen Farbenringen im zurückgeworfenen und das ordentliche denen im gebrochenen Lichte. BRÜCKE[3] suchte die Reihenfolge der einzelnen Farben der NEWTONschen Ringe unter der Voraussetzung der Gleichheit dadurch zu bestimmen, dass er durch Spaltung terassenförmig gemachte Gypsblättchen, die also ihre Dicke sprungweise, aber in geringen Unterschieden änderten, unter dem Polarisationsmikroskope untersuchte. Er[4] hatte schon früher das Braun als die Ergänzungsfarbe des Lavendelgrau erster Ordnung in ähnlichen Beobachtungen gefunden. WERTHEIM[5] gab die von den NEWTONschen merklich abweichenden Farbenbestimmungen für eine von BILLET[6] mitgetheilte Tabelle, in welcher die den einzelnen Färbungen der 3½ ersten Ordnungen entsprechenden Dicken der Luftschicht in Millionthei-

1. NEWTON a. a. O. p. 206.
2. WILDE, Pogg. Ann. Bd. LXXX. 1850. S. 410.
3. BRÜCKE, Pogg. Ann. Bd. LXXIV. 1849. S. 582—586.
4. BRÜCKE, Pogg. Ann. Bd. LXXIV. 1849. S. 461. 62.
5. BILLET, *Traité d'Optique physique.* Tome II. p. 639.
6. BILLET a. a. O. Tome I. p. 490. MOUSSON a. a. O. S. 406.

len von Millimetern ausgedrückt wurden. Die 3½ höheren Ordnungen sind wahrscheinlich hinweggelassen, weil sie sich nur in Nüancen von Grün und Roth bewegen und um so blasser, daher für feinere Unterschiede unbrauchbarer werden, je mehr sie steigen. Ich habe dessenungeachtet die Werthe dieser Farben mit Zugrundelegung der NEWTONschen Grössen und des letzten der unter einander nicht übereinstimmenden Coëfficienten berechnet, weil wir später einzelne Zahlen aus diesen höheren Ordnungen für weitere Folgerungen benutzen werden.

§. 174. Da sich die Farben des ordentlichen und des ausserordentlichen Bildes, das die doppeltbrechenden Körper in dem Polarisationsapparate geben, wechselseitig zu Weiss ergänzen, so kann man die Beziehungen derselben auch so ansehen, als betrage der Gangunterschied bei dem ausserordentlichen Bilde eine halbe Wellenlänge mehr als bei dem ordentlichen. Dasselbe findet für das zurückgeworfene und das durchgegangene Licht in Betreff der NEWTONschen Ringe statt. Gleicht die Farbe des ausserordentlichen Bildes der eines NEWTONschen Ringes im zurückgeworfenen Lichte, so wird die des ordentlichen der Farbe eines entsprechenden Ringes im gebrochenen Lichte entsprechen. Die Columnenüberschriften enthalten daher die gleichwerthigen Bezeichnungen.

Die Zahlen, die ich der leichteren Uebersicht wegen zwischen beiden zusammengehörenden Ergänzungsfarben gestellt habe, sind die Zähler von Brüchen, deren Nenner ein Milliontheil eines Millimeters beträgt. Der Werth 1128 z. B., den das ausserordentliche Blauviolett dritter Ordnung führt, sagt aus, dass eine Luftschicht von 0,001128 Millimeter Dicke diejenige Höhe des Spaltraumes der NEWTONschen Ringe ist, die jene Farbe bei zurückgeworfenem und ursprünglich angewandtem weissem Lichte gibt. Wir haben für atmosphärische Luft:

Ordnung.	Farbe in zurückgeworfenem Lichte oder des ausserordentlichen Bildes.	Luftdicke in Millionstheilen von Millimetern.	Farbe in durchgelassenem Lichte oder des ordentlichen Bildes.
Erste Ordnung.	Schwarz (vgl. §. 173)	0	Weiss.
	Eisengrau	40	Weiss.
	Lavendelgrau	97	Weissgelblich.
	Graublau	158	Weissbräunlich.
	Heller Grau	218	Gelbbraun.
	Weiss mit einer Spur von Grünlich	234	Braun.
	Fast reines Weiss	259	Hellroth.
	Gelblichweiss	267	Carminroth.
	Strohgelb	275	Rothbraun, fast Schwarz.
	Strohgelb	281	Dunkelviolett.
	Hellgelb	306	Indigo.
	Glänzend Gelb	332	Blau.
	Orangegelb	430	Blaugrünlich.
	Orangeröthlich	505	Grünbläulich.
	Warmes Roth	536	Blassgrün.
	Dunkeles Roth	551	Gelbgrün.
Zweite Ordnung.	Purpurroth	565	Helles Grün.
	Violett	575	Grünlichgelb.
	Indigoblau	589	Lebhaft Gelb.
	Blau	664	Orange.
	Blaugrünlich	728	Orangebraun.
	Grün	747	Hell Carminroth.
	Heller Grün	826	Pupurroth.
	Gelblichgrün	843	Purpurviolett.
	Grünlichgelb	866	Violett.
	Reines Gelb	910	Indigoblau.
	Orange	948	Dunkelblau.
	Lebhaft Orangeroth	998	Grünlichblau.
	Dunkel Rothviolett	1101	Grün.
Dritte Ordnung.	Hell Blauviolett (Uebergangsfarbe)	1128	Gelblichgrün.
	Indigoblau	1151	Unreines Gelb.
	Blau mit Grünlich	1258	Fleischfarben.
	Grünbläulich	1334	Braunroth.
	Glänzend Grün	1376	Violett.
	Grünlichgelb	1426	Grau-Violettblau.
	Rosenroth	1495	Grünlichblau.
	Carminroth	1534	Grün.
	Purpur-Carmin	1621	Hellgrün.
	Violettgrau	1652	Gelblichgrün.
Vierte Ordnung.	Graublau	1682	Grünlichgelb.
	Hell Grünlichblau	1711	Gelbgrau.
	Bläulichgrün	1744	Malvenfarben.
	Hellgrün	1811	Carminroth.
	Hellgraugrün	1927	Rothgrau.
	Grau, fast weiss	2007	Graublau.
	Gelblichgrün	2046	Graublau.
	Roth	2291	Blassroth.
Fünfte Ordnung.	Grünlichblau	2615	Meergrün.
	Roth	2985	Blassrosenroth.
Sechste Ordnung.	Grünlichblau	3340	Lichtes Meergrün.
	Roth	3695	Noch blässeres Rosenroth.
Siebente Ordnung.	Grünlichblau	4036	Sehr blass.
	Röthlichweiss	4378	Sehr blass.

§. 175. Nehmen wir einen anderen durchsichtigen Körper statt der Luft, so treten die gleichen Farben bei anderen Höhen des Spaltraumes auf. Die nöthigen Dicken verhalten sich umgekehrt, wie die Brechungscoëfficienten. Da diese aber mit den Farben wechseln, so begnügt man sich mit einer mittleren Grösse, wenn man den reciproken Werth des Ablenkungscoëfficienten oder die Zahl aufsucht, mit der man die für die Luft geltende Dicke vervielfältigen muss, um die der neuen Masse entsprechende Dicke zu finden. Beträgt z. B. das Brechungsverhältniss des Wassers 1,3335, so muss man das Product des Dickenwerthes der Luft und der Grösse $\frac{1}{1,3335} = 0,75$ aufsuchen, um die Dicke der Wasserschicht zu finden, welche die gleiche Farbe liefert. Glas würde 0,654 geben, wenn sein Brechungscoëfficient 1,5296 betrüge. Man hat daher auch die NEWTONschen Ringe gebraucht, um das Ablenkungsverhältniss einer Flüssigkeit zu bestimmen, von der nur eine geringe Menge zu Gebote steht. Sie könnten ebenfalls gute Dienste bei der Herstellung eines Dicken-Mikrometers leisten[1].

---

1. So leicht es ist, Mikrometer anzugeben, welche die Flächendurchmesser, nämlich die Länge und die Breite mikroskopischer Gegenstände anzeigen, so schwer wird es, Apparate für die Bestimmung der Dicke zu liefern. Die Versuche, das Mikroskoprohr durch eine Mikrometerschraube um eine der geringen Dicke entsprechende Grösse zu verrücken, können keinen praktischen Nutzen gewähren, weil das Auge keine auf einen Punkt beschränkte Anpassung, sondern eine gewisse Accommodationsweite besitzt.

Fig. 35.



Denken wir uns, ein Mikrometer enthielte zwei ebene, am Ende in einen dünnen Keil zusammenstossende Glasplatten *ab* und *cb* Fig. 35, die in dieser Seitenansicht unter dem Mikroskope gesehen würden. Der mikroskopische Gegenstand *d* haftet an der Platte *ab* durch Adhäsion oder durch ein Klebemittel, dessen Dicke nicht in Betracht kommt. Eine gröbere Bewegung führt zuerst *ab* so weit vor, dass *d* in den Bereich des Keilraumes *ecb* tritt und eine Mikrometerschraube setzt dann die Bewegung fort. Man wird hierbei zu einer Stelle gelangen, an der die Dicke des mikroskopischen Gegenstandes *d* eine bestimmte Höhe *fg* oder *hi* ausfüllt. Die Graduation der Mikrometerschraube liesse sich mit Hilfe der von der Fläche der Gläser aus beobachteten NEWTONschen Ringe für sehr feine Spalttheile und durch Messung von *ec* und *cb* und Berechnung der ähnlichen Dreiecke bei dickeren Zwischenräumen theils direct,

§. 176. NEWTON[1] fand schon bei seinen Maassbestimmungen, dass sich die Durchmesser der dunkelen Ringe, den Centralfleck als ersten gerechnet, wie die Quadratwurzeln der geraden und die der hellen wie die der ungeraden, unmittelbar auf einander folgenden ganzen Zahlen verhalten, wenn man in zurückgeworfenem Lichte beobachtet. Man hat natürlich das Umgekehrte in durchgehendem Lichte (§. 170). Die Theorie lehrt, dass jene Verhältnisse nur den Werth von Annäherungen beanspruchen können. Da aber die von WILDE[2] mit dem Gyreidometer angestellten Messungen nachwiesen, dass die Genauigkeit mindestens bis zur vierten Decimalstelle geht, so kann man das Gesetz als streng gültig für die Bedürfnisse der Praxis ansehen. Nun lässt sich zeigen, dass der Unterschied der Quadratwurzeln zweier unmittelbar auf einander folgender gerader oder ungerader Zahlen um so kleiner wird, je grösser die absoluten Werthe dieser Zahlen ausfallen. Hieraus folgt, dass die Ringe um so mehr zusammenrücken, je weiter man sich vom Mittelpunkte entfernt. Arbeitet man in weissem Lichte, so werden bald die Ringe durch Zusammensetzung der nahestehenden verschiedenfarbigen zu Weiss undeutlich. Dieses fällt in einfarbigem Lichte hinweg. Man sieht daher eine grössere Zahl von Ringen. Kommen kleinere farbige Lichtwellen zur Interferenz oder werden diese wegen der geringeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines stärker brechenden Mittels kürzer, so verengern sich die Ringe. Schiefer einfallende Strahlen erweitern sie. Die zuerst genannten Hauptnormen und die aus ihnen hergeleiteten Folgerungen kehren auch für die Kreisringe wieder, welche die einachsigen, senkrecht auf die Achse geschnittenen Platten liefern.

§. 177. Die erste Frage, die man sich bei der Untersuchung eines doppelt brechenden Körpers stellen muss, ist die, ob er zwei- oder einachsig ist. Die zweite Aufgabe besteht darin, die Lage

---

theils durch Interpolation bestimmen. Es wäre noch Sache der Einrichtung, die durch Beugung und Irradiation möglichen Fehler zu vermeiden.

1. NEWTON a. a. O. p. 174. 175.

2. WILDE, Pogg. Ann. Bd. LXXX. 1850. S. 411—416.

oder, besser gesagt, die Richtung der optischen Achse zu bestimmen. Man kann erst nach diesen Feststellungen aufzufinden suchen, welchen Charakter der Doppelbrechung die Masse besitzt, ob sie positiv oder negativ ist. Da die einachsigen Körper in der organischen Welt häufiger, als die zweiachsigen vorkommen, so werden wir die Verhältnisse von jenen ausführlicher berücksichtigen.

§. 178. Bezeichnet ab die Ebene, in der sich die planplane Platte oder ein als unendlich dünn und daher als eben begrenzt anzusehender mikroskopischer Körper in dem Polarisationsapparate befindet und c den Augenpunkt, so möge cd die auf der Mitte von ab senkrechte Linie angeben, die der Achse des Instrumentes entspricht. Ist unsere Platte senkrecht auf die Achsenrichtung geschnitten, so können die senkrecht durchgehenden Strahlen keine Interferenz verursachen, weil sie sämmtlich ordentlich gebrochen werden (§. 54). Sie werden daher das Polarisationsfeld unverändert lassen. Sind die Polarisationsebenen der Nicol gekreuzt, so stören sie nicht die schon vorhandene Dunkelheit. Da aber die Platte eine gewisse Ausdehnung besitzt, so treten nicht bloss senkrechte, sondern auch schiefe Strahlen durch. Hat jene nur die geringe Grösse ef, so ist der halbe Maximalwinkel α so klein, dass auch die Strahlen ce nur wie senkrechte auf unser Auge wirken. Der dunkele Grund erhält sich daher nach der Einschaltung des schmalen Gegenstandes bei jeder beliebigen Azimuthalstellung desselben, mithin auch bei der Umdrehung der Platte in ihrer Ebene und um die Achse des Mikroskopes. BRÜCKE[1] wandte diese Erscheinung zur Bestimmung der Richtung der optischen Achse in den Muskelfasern und nach ihm W. MÜLLER[2] zu der gleichen Ermittelung der Verhältnisse anderer Thiergewebe an.

Fig. 36.



1. BRÜCKE, Denkschriften der Wiener Akademie. Bd. XV. Wien 1858. 4. S. 72.

2. W. MÜLLER, HENLE und PFEUFFERS Zeitschrift. Dritte Reihe. 1860. Bd. X. S. 175.

Erreicht die Platte die Grösse *gh*, so dass der halbe Maximalwinkel β ist, so bleibt natürlich das 2α entsprechende Stück *ef*, wie früher, in allen Azimuthen dunkel. Man hat aber einen äusseren Bezirk *gh*, in dem sich die schiefen Strahlen ihrer grösseren Geneigtheit wegen auch für unser Auge bemerklich machen. Nun ist jede Ebene, die wir durch die Achse des Instrumentes und eine beliebige Azimuthalrichtung legen, in unserem Falle ein Hauptschnitt (§. 46), weil die optische Achse in der Richtung der ersteren Linie dahingeht. Der Hauptschnitt der unter 0^0 und der, welcher unter 90^0 orientirt ist, geben bei gekreuzten Nicol das Minimum und die beiden $\pm 45^0$ entsprechenden Hauptschnitte das Maximum der Lichtstärke. Man hat also das schwarze Kreuz mit den hellen Zwischenfeldern, deren grösste Lichtstärke in $\pm 45^0$ erreicht wird. Dreht man den Zerleger oder den Polarisator um 90^0, so wird hell, was früher dunkel war und umgekehrt.

Besitzt endlich die Platte die Ausdehnung *ab*, so dass der halbe Maximalwinkel der schiefen, in das Auge dringenden Strahlen zu γ wird, so erhalten wir die bald zu erwähnenden Ringe, welche durch die Interferenz derjenigen Strahlen bedingt werden, die an der anderen Seite der Platte schief eintreten und in dieser unter starker Neigung nach der Doppelbrechung durchgeleitet werden. Wir haben aber §. 132 gesehen, dass eingeschaltete Convergenzlinsen diese Schiefheit vergrössern und daher schon Curven in Entfernungen von der Achse zeigen, die hier ohne sie nicht bemerkt werden.

Fassen wir alles zusammen, so erhalten wir verschiedene Erscheinungen, je nach der Flächenausdehnung der geprüften, auf der optischen Achse senkrechten Platte. Ist sie sehr klein, so bleibt sie, wie das übrige Gesichtsfeld, bei gekreuzten Nicol dunkel, man möge sie in ihrer Ebene drehen, wie man wolle. Hat sie eine mittlere Grösse, so gibt sie das dunkele Kreuz mit hellen Zwischenfeldern, die beide bei allen Drehungen der Platte in ihrer Ebene unverändert bleiben. Erreicht sie eine noch bedeutendere Ausdehnung, so kommen die Ringe hinzu. Das frühere Auftreten von diesen ist aber durch die Einschaltung von Convergenzlinsen zwischen dem Polarisator und der Platte möglich gemacht.

§. 179. Es ergibt sich aus dem §. 59 Gesagten, dass sich eine parallel der Achse geschliffene Platte anders verhält. Fallen die beiden neutralen Richtungen (§. 63) in die Azimuthe 0^0 oder 90^0, so ändert sie das Gesichtsfeld nicht. Man hat daher dunkel bei gekreuzten Nicol. Die Einstellung einer jener beiden Richtungen unter $\pm 45^0$ gibt das Maximum der Helligkeit und der Intensität der Farben, wenn diese überhaupt auftreten. Dreht man eine solche Platte in ihrer Ebene herum, so hat man in zwei Durchmessern völlig dunkel und in zweien möglichst hell. Dieser Unterschied zeigt sich nicht bloss an einachsigen Platten, die parallel der optischen Achse geschliffen, sondern auch an zweiachsigen Krystallen, die senkrecht auf einer der Elasticitätsachsen geschnitten sind. Nun entspricht hier die Mittellinie, welche die Achse der grössten oder die der kleinsten Elasticität enthält, der einfachen optischen Achse der einachsigen Körper (§. 46). Eine auf der Mit tellinie senkrechte Platte einer zweiachsigen Masse bleibt daher nicht, wie eine auf der optischen Achse senkrechte einer einachsigen, bei der Drehung in ihrer Ebene unverändert, sondern gibt zwei Maxima der Helligkeit und zwei der Dunkelheit, je nachdem ihre Polarlinie (§. 61) unter $\pm 45^0$ oder unter 0^0 oder 90^0 orientirt ist. Man hat dieses Merkmal als einziges Zeichen in Platten von geringerer Flächenausdehnung. Solche mittlerer Grösse liefern ein Kreuz bei 0^0 und 90^0, das sich bei der Drehung der Platte in ihrer Ebene von 0^0 nach $\pm 45^0$ in zwei Hyperbeln auflöst, deren Scheitel bei dem Azimuthe $\pm 45^0$ wechselseitig am meisten abstehen (§. 189). Noch grössere Platten endlich zeigen überdiess Curven, die hier, wie bei den einachsigen Platten, in einfarbigem Lichte hell und dunkel, in weissem dagegen gefärbt sind und die man gleichgefärbte oder isochromatische Curven nennt, weil jede dieselbe Farbe längs ihres ganzen Verlaufes in den gewöhnlichen Fällen bewahrt.

§. 180. Die physikalischen Lehrbücher und selbst Specialwerke über höhere Optik, welche die Curven planplaner einachsiger Platten ausführlich behandeln, kennen nur gerade Linien, Kreise und Hyperbeln, die hier zum Vorschein kommen. Sie er-

wähnen nicht, dass die geraden Linien nur scheinbar auftreten und Parabeln und Ellipsen ebenfalls möglich bleiben. Dieses rührt davon her, dass die zwei allgemeinsten mathematischen Bearbeitungen des Gegenstandes, die von LANGBERG[1] und die von OHM[2] fast gänzlich unbekannt geblieben[3]. Da manche der Folgerungen auch für die Untersuchung der Gewebe von Bedeutung sind, so werde ich auf den uns interessirenden Theil der Hauptergebnisse etwas ausführlicher eingehen.

§. 181. LANGBERG behandelt den allgemeinen Fall des Durchtrittes des Lichtes durch zwei mit ihren Hauptschnitten beliebig gelagerte einachsige Platten, die aus verschiedenen Massen bestehen. Man kann dann natürlich die allgemeine Gleichung auf die Einzelfälle, in denen die Substanzen übereinstimmen und die Hauptschnitte zusammenfallen, einander rechtwinkelig oder unter 45^0 kreuzen, die optischen Achsen eine gegebene Lage haben, endlich nur eine Platte vorhanden ist, zurückführen. Da sich der Unterschied von linear, elliptisch und kreisförmig polarisirtem Lichte aus Gangunterschieden der beiden Strahlen der Doppelbrechung herleiten lässt, so braucht man nur die entsprechenden Annahmen für die untere oder die obere Platte in die allgemeine Formel einzuführen, um die Ergebnisse für die Polarisation oder die Analyse der anderen in dem angenommenen Lichte zu erhalten.

---

1. LANGBERG, Pogg. Ann. Ergänzungsband zu Bd. LI. 1842. S. 529—565.

2. G. S. OHM, Abh. der phys. math. Klasse der bayerischen Akademie. Bd. VII. München 1855. 4. S. 41—149 und S. 267—369. Die Einleitung hierzu ist in Pogg. Ann. Bd. XC. 1853. S. 327—32 abgedruckt.

3. Die Abhandlung von LANGBERG fand ich nur von WILDE (Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. 1853. S. 106) geschichtlich (LANGBERG, Pogg. Ann. Bd. IXC. 1854. S. 495. 96), von ÅNGSTRÖM kurz und von OHM eingänglich erwähnt. Der Letztere (a. a. O. S. 267—69) bemerkt bei dieser Gelegenheit, dass seine ganze Untersuchung unterblieben wäre, wenn er die Arbeit von LANGBERG bei dem Beginne derselben gekannt hätte. OHMS Leistung wurde meines Wissens nur insofern berücksichtigt, als WEISS (Pogg. Ann. Bd. XCII. 1854. S. 626—632) eine kürzere Herleitung der Hauptformel des Gangunterschiedes mittheilte und ZECH (Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. 1856. S. 129 - 35 und Bd. CII. 1857. S. 360) gelegentlich bemerkte, dass seine für zweiachsige Krystalle aufgestellte Gleichung in die OHMsche übergehe, wenn die optischen Achsen zusammenfallen.

§. 182. OHM entwickelt eine allgemeine Hauptgleichung für den Gangunterschied der beiden Strahlen, welche eine einachsige mit parallelen ebenen Oberflächen versehene Platte durchsetzen. Er gibt dann eine bequemer zu behandelnde Annäherungsformel[1], in welcher die vierten und die höheren Potenzen des Sinus des Einfallswinkels unbeachtet geblieben, und führt sie auf eine Kegelschnittsgleichung zurück[2]. Die Discussion der letzteren zeigt, dass Kreise, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln, nicht aber gerade Linien, also nur Linien zweiten Grades möglich sind. Was man für gerade Linien in Platten, die unter 45° zur optischen Achse geschnitten worden, angesehen hat, waren Curven, deren Mittelpunkt weit ausserhalb des Gesichtsfeldes lag[3]. Die Combination zweier gleich dicker Platten dagegen, von denen jede einzelne eine Parabel geben würde, kann gerade Linien liefern, deren wechselseitige Entfernung mit dem Abstande von der Mitte des Gesichtsfeldes abnimmt. Jede der zwei Platten darf dabei einem anderen einachsigen Körper angehören[4]. Sie muss dann für Kalkspath so geschnitten sein, dass ihre Oberfläche 36° 44′ und für Bergkrystall, dass diese 35° 10′ mit der optischen Achse bildet.

§. 183. Eine einachsige, senkrecht zur optischen Achse geschnittene planplane Platte zeigt bei rechtwinkeligen Polarisationsebenen ein schwarzes Kreuz mit einer Reihe heller und dunkeler Ringe in einfarbigem und gefärbter in weissem

1. OHM a. a. O. S. 81. Es ist zu bemerken, dass, so gut die Folgerungen für eine Platte und einen Theil der zu zwei combinirten mit der Erfahrung stimmten, dieses bei anderen Verbindungen zweier Platten nicht der Fall war. (Siehe a. a. O. S. 348—63.) OHM selbst sagt (a. a. O. S. 83): »Ich bin in meinem Leben nie auf eine Rechnung gestossen, die, auf gleich einfachen Grundlagen ruhend wie diese, so viele Quellen zu Irrungen in sich birgt.«

2. OHM a. a. O. S. 84.

3. OHM a. a. O. S. 126. WILDE (Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. 1853. S. 218), der die Potenzen der Sinus des Einfalls- und der beiden Brechungswinkel, die höher als die zweiten sind, in seiner Annäherungsformel weglässt, kommt schon zu dem Ergebnisse, dass alle nicht ganz der Mitte des Sehfeldes entsprechenden Linien in Platten von 45° zur optischen Achse gekrümmt seien. Man sieht dieses auch unmittelbar.

4. OHM a. a. O. S. 317.

Lichte, wenn die äusseren Strahlen des in das Auge gelangenden Lichtkegels die Platte schief genug durchsetzt haben (Fig. 37 S. 128). Obgleich die Ringe in der Regel isochromatisch (§. 179) sind, so findet man doch Ausnahmen, von denen uns Beispiele in dem fünften Abschnitte aus der organischen Natur begegnen werden. Der erste deutlich kenntliche Ring beginnt in einer gewissen Entfernung vom Mittelpunkte; weil erst hier die nöthige Schiefe der Strahlen erreicht wird (§. 178). Man hat natürlich das helle Kreuz und angeblich die Ergänzungsfarben der Ringe bei parallelen Polarisationsebenen [1].

Bilden diese einen Winkel, der grösser als 0° und kleiner als 90° ist, so erhält man 8 Halb- oder 4 Durchmesser, in denen keine Interferenz der beiden Strahlen, mithin keine Polarisationsfarben zu Stande kommen. Ein Durchmesser entspricht der Polarisationsebene des Polarisators und ein zweiter steht auf ihr senkrecht. Man hat hier nur eine einfache Brechung. Der dritte Durchmesser entspricht der Polarisationsebene des Analysators und der vierte ist wiederum auf dieser senkrecht. Es wird hier nur je ein Strahl vom Analysator wiedergegeben. Alle übrigen Durchmesser liefern Interferenzen, weil die Schwingungen ihrer Strahlen erst auf die Schwingungsebene des Analysators zurückgeführt werden müssen. Die in einfachem Lichte hellen oder dunkelen und in weissem Lichte isochromatischen Kreisringe werden daher durch vier neu-

---

1. Mathematische Erläuterungen dieser Kreuz- und Ringfiguren finden sich bei Airy, Pogg. Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 208—271. J. Müller schrieb über Platten parallel oder unter 45° zur Achse und einige Doppelplatten in Pogg. Ann. Bd. XXXIII. 1834. S. 282—302 und Bd. XXXV. 1835. S. 95—111 und S. 261—277. Eine klare, von einer geschichtlichen Darstellung und controllirenden Ringmessungen begleitete mathematische Erläuterung der epoptischen Figuren der senkrecht, parallel oder unter 45° zur optischen Achse geschnittenen Platten einachsiger Krystalle in linear und in circular polarisirtem Lichte gibt Wilde in Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. 1853. S. 99—114 und S. 197—223. Bd. LXXXIX. 1853. S. 234—246 und S. 402—420. Der Artikel Undulation von Littrow (Gehlers physik. Wörterbuch. Bd. IX. Leipzig 1839. 8. S. 1267—1566), der die Wellenverhältnisse der wägbaren Stoffe und des Lichtäthers in möglichst populärer höherer mathematischer Darstellung behandelt, erläutert auch die Polarisationsfiguren und andere in dieser Schrift berührte Punkte S. 1520—1559.

trale Durchmesser in Octanten getheilt, welche sämmtlich die gleiche Grösse darbieten, wenn der Winkel, den die beiden Polarisationsebenen bilden, 45° gleicht. Das Bild ändert sich nicht bei der Drehung der Platte in ihrer eigenen Ebene. Die Wendung des Zerlegers oder des Polarisators um weitere 45° lässt je zwei der neutralen Durchmesser zu einem zusammenfallen, so dass das Kreuz entsteht. Da die Lichtstärke von den mathematischen Kreuzesarmen aus nur sehr allmählig wechselt, so bilden für unser Auge die Aeste breitere Büschel, die nach dem Umkreise noch mehr wachsen (Fig. 37).

§. 184. Stehen die Polarisationsebenen unter 0° oder 90°, so hängen die Ringhalbmesser ab:

a. von der Neigung der durchgehenden und interferirenden Strahlen. Die der ersten kenntlichen Ringe verkleinern sich daher bei dem Gebrauche von Convergenzlinsen (§. 132). Die starke Doppelbrechung des Kalkspathes macht den Unterschied am auffallendsten. Fig. 37 zeigt uns z. B. Kreuz und Ringe einer senkrecht

Fig. 37.

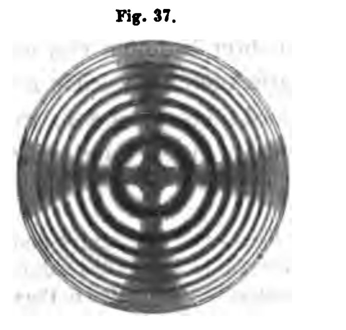
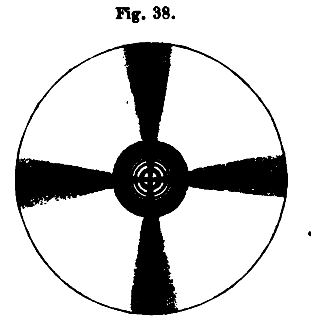


Fig. 38.



auf die Achse geschnittenen Kalkspathplatte, wie sie in der Turmalinzange (§. 69) nach der Einschaltung eines rothen Glases zum Vorschein kamen und Fig. 38, wie sie sich für die gleiche Platte und dasselbe rothe Glas in dem Nörrenberg'schen Polarisationsmikroskope darstellten. Die absolute Grösse, d. h. der von der Mikroskopvergrösserung befreite Werth des ersten Ringdurchmessers könnte daher als Maass der Güte zweier zu vergleichender Systeme von Convergenzlinsen benutzt werden.

b. Von der Stärke der Doppelbrechung. Je grösser der Unterschied der Ablenkungscoëfficienten des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles, um so kleiner fällt der erste Ringhalbmesser unter sonst gleichen Nebenbedingungen aus. Der Vergleich einer Kalkspathplatte mit einer Honigsteinplatte z. B. kann dieses unmittelbar nachweisen.

c. Die Halbmesser der entsprechenden Ringe verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Plattendicke desselben Materiales. Die Ringstellen, welche bei gekreuzten Polarisationsebenen und in einfarbigem Lichte mit den Maximis der Helligkeit und der Dunkelheit unmittelbar auf einander folgen, geben annähernd die Proportion $\sqrt{1} : \sqrt{2} : \sqrt{3} \ldots.$ Nimmt man weisses Licht, so verhalten sich die Halbmesser der Mitten der gefärbten Ringe ungefähr, wie die Quadratwurzeln der natürlichen Zahlenreihe. Die Farben stimmen in groben Umrissen mit denen der NEWTONschen Ringe, wie diese sich im zurückgeworfenen Lichte darstellen (§. 176). Die parallele Stellung der Polarisationsebenen gibt annähernd die Ergänzungsfarben. Man stösst übrigens häufig auf merkliche Abweichungen, weil die ganze Anschauungsweise auf blossen Annäherungsformeln beruht und die vielen Körpern zukommende Achsenzerstreuung (§. 43) eigenthümliche Veränderungen auch in einachsigen Massen herbeiführen kann. Der Kalkspath, der Beryll und das Eis liefern noch die grösste Uebereinstimmung nach HERSCHELS[1] Angabe.

§. 185. Man pflegt in den physikalischen Lehrbüchern anzuführen, dass eine senkrecht auf die Achse geschnittene Quarzplatte ein Kreuz zeigt, das an dem ersten in einfarbigem Lichte dunkelen Ringe aufhört und sich daher von dem anderer einachsiger Körper wesentlich unterscheidet. Dieses gilt nur für Platten, die eine gewisse Dicke überschreiten. Sehr dünne liefern ein dunkeleres Kreuz ausserhalb und als Fortsetzung desselben ein matteres innerhalb des ersten Ringes. Dieses letztere, dessen Arme sich im Mittelpunkte schneiden, gibt die nur ihm eigene Erscheinung, dass

1. HERSCHEL, Vom Licht. S. 499.

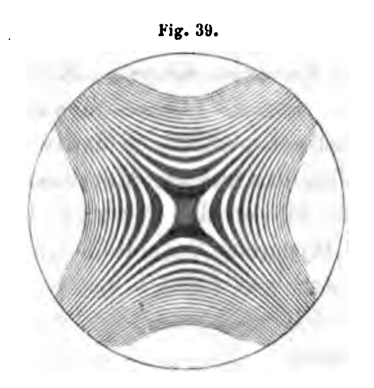
es bei dem Drehen des Analysators in der Richtung der Rotation des Quarzes gelb wird und später in vier Flecke übergeht. (Vgl. §. 320.) Legt man zwei gleich dicke, senkrecht auf die Achse geschnittene Quarzplatten, von denen die eine rechts und die andere links dreht (§. 84), über einander, so bemerkt man innerhalb des Kreisfeldes des ersten Ringes ein spiraliges Kreuz, das sich in spiraligen Linien nach aussen fortsetzt. Man nennt diese Figur die Airyschen Spiralen, weil Airy[1] zuerst die mathematische Erklärung der erwähnten Eigenthümlichkeiten des Quarzes gegeben hat (§. 87).

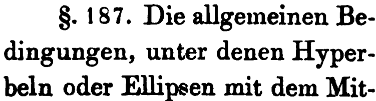
§. 186. Platten, die der Achse parallel geschnitten sind, zeigen Hyperbeln, deren annähernd rechtwinkelige Asymptoten parallel den rechtwinkeligen Polarisationsebenen dahingehen, wenn sie am deutlichsten erscheinen. Der Asymptotenwinkel, der von der Dicke der Platte unabhängig ist[2], wird dann von dem Hauptschnitte halbirt. Dreht man jene in ihrer eigenen Ebene, so sieht man die Hyperbeln am undeutlichsten oder gar nicht, wenn die gemeinschaftlichen Asymptoten unter $\pm 45^0$ dahingehen, mithin der Hauptschnitt einer der beiden Polarisationsebenen parallel ist. Schneidet er diese unter 45^0, so erhalten die Hyperbeln die grösste Lichtstärke. Die bedeutenden Gangunterschiede der Strahlen in dem stark doppelt brechenden Kalkspathe (§. 184) bedingen es[3], dass man seine Hyperbeln immer nur in dem gelben Lichte einer Kochsalz-Weingeistflamme (§. 167), nicht aber in dem Tageslichte bemerkt, wenn man selbst ein fast homogenes (§. 168) rothes oder blaues Glas gebraucht. Etwas Aehnliches wiederholt sich für einfache, der Achse parallele Quarzplatten. Kreuzt man dagegen zwei derselben rechtwinkelig, so erscheinen die Hyperbeln in dem weissen, wie in dem einfarbigen Tageslichte. Die Fig. 39 gegebene Abbildung ist nach einem solchen in rothem Lichte untersuchten Präparate entnommen. Eine weitere Drehung würde hier bewirkt haben, dass die innersten

1. Airy, Pogg. Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 208—271.
2. Langberg a. a. O. S. 536.
3. Wilde, Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. 1853. S. 212.

Hyperbeln zu einem im Umkreise schmalen steifen Kreuze zusammenstiessen (Fig. 64). Man kann dieses auch an einer der Achse parallelen Kalkspathplatte erzeugen, nicht aber an einer sehr dünnen einfachen Quarzplatte, bei der schon die innersten Hyperbeln durch ein grosses Mittelfeld getrennt werden.

Fig. 39.





§. 187. Die allgemeinen Bedingungen, unter denen Hyperbeln oder Ellipsen mit dem Mittelpunkte in oder ausserhalb der Mitte des Gesichtsfeldes auftreten[1], lassen sich ohne den Gebrauch der mathematischen Zeichensprache nicht darstellen. Wir wollen daher nur einige Fälle, die wir für das Studium der organischen Polarisationspräparate brauchen werden, hervorheben. Eine Platte, die unter 80° oder 85° zur optischen Achse geschnitten ist, zeigt ein ähnliches Bild, wie eine auf der optischen Achse senkrecht geschliffene Platte, nur mit dem Unterschiede, dass der Mittelpunkt nicht in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt, sondern um so mehr verschoben ist, je grösser der Neigungswinkel der optischen Achse zu der auf der Plattenoberfläche senkrechten Linie ausfällt. Hält man eine Kalkspathplatte, deren optische Achse einen Winkel von 70° zur Oberfläche bildet, schief von oben nach unten, so bemerkt man ein Kreuz, von scheinbaren Ellipsen umgeben, deren Stellungen den Drehungen der Platte in ihrer wagerechten Ebene folgen.

§. 188. Zech, der die allgemeinen Gleichungen für die Curven zweiachsiger Platten entwickelt hat[2], nennt Perpendicularlinie die (mittlere) Elasticitätsachse, welche auf der Ebene der optischen Achsen senkrecht steht. Gehen die Grenzebenen

1. Ohm a. a. O. S. 117. 118. 119. 125. 346.

2. Zech, Pogg. Ann. Bd. XCVII. 1856. S. 129—135 und Bd. CII. 1857. S. 354—364.

eines zweiachsigen Krystalles ihr parallel dahin und ändert sich die Stellung stetig, so dass sie erst zu einer und dann zur anderen Mittellinie (§. 42) senkrecht sind, so hat man der Reihe nach: Hyperbeln, Parabeln, Ellipsen, Kreise, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln. Sind die Grenzebenen der ersten (gewöhnlich so genannten) Mittellinie parallel, so findet man immer Hyperbeln. Stehen sie endlich der zweiten Mittellinie parallel, so erhält man der Reihe nach: Hyperbeln, Parabeln, Ellipsen, scheinbare gerade Linien und Hyperbeln[1]. ZECH überzeugte sich auch in einem Topase, den er passend geschliffen und in einer Vorrichtung mit grossem Gesichtsfelde untersucht hat, dass keine wahren geraden Linien vorkommen.

Fig. 40.

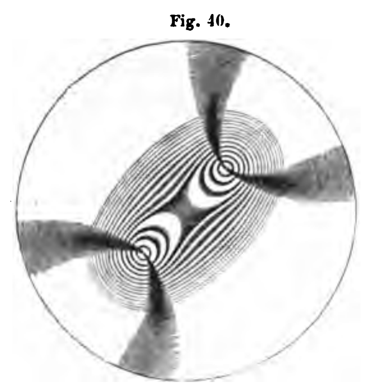
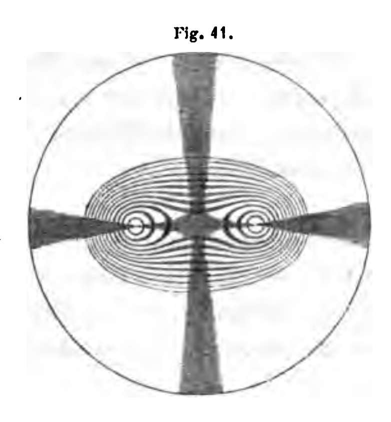


Fig. 41.



§. 189. Man untersucht am häufigsten die Platten zweiachsiger Krystalle, die senkrecht zur Mittellinie geschnitten sind und wir werden im fünften Abschnitte sehen, dass die Natur selbst diesen Fall in den Molluskenschalen bevorzugt hat. Wir finden hier eine Anzahl geschlossener Curven oder Ringe, deren beide Mittelpunkte den Polen (§. 61) entsprechen. Sind die Polarisationsebenen gekreuzt und steht die Polarachse unter $\pm 45^0$, so gehen durch die Pole schwarze hyperbolische Büschel, die sich in dem weiteren Verlaufe verbreitern. Fig. 40 zeigt das Bild einer unter $+45^0$ orientirten Aragonitplatte, die senkrecht auf die Mittellinie geschnitten

1. ZECH, Pogg. Ann. Bd. CII. S. 360 und 362.

ist. Dreht man sie, so dass die Polarlinie zu 0^0 oder 90^0 gelangt, so bildet sich ein schwarzes Kreuz, Fig. 41, dessen gleichförmig breiter matter Arm senkrecht auf der Polarlinie steht. Der, welcher diese durchsetzt, ist innerhalb des ersten Ringes am schmalsten und wird ausserhalb desselben nach beiden Seiten breiter.

Untersucht man eine solche Platte mit grossem Achsenwinkel (§. 43) in der Turmalinzange, so sieht man nur die ersten Ringe eines Poles von einem hyperbolischen Büschel durchschnitten. Fig. 42 zeigt dieses aus derselben Aragonitplatte, die zu Fig. 40 und 41 gebraucht worden. Man hat hier einen ähnlichen Unterschied der Ringdurchmesser, wie Fig. 37 und 38 für den Kalkspath.

Fig. 42.



§. 190. Herschel[1] brachte eine senkrecht auf die Mittellinie geschliffene Salpeterplatte zwischen zwei Turmalinplatten, legte eine doppelt convexe Linse so vor, dass ihr Brennpunkt auf die erste Oberfläche des hinteren oder des analysirenden Turmalins fiel und fing das Bild auf einem weissen Schirme auf. Die an diesem angestellten Messungen führten ihn zu dem Schlusse, dass die Curven annäherungsweise Schleifenlinien oder Lemniscaten seien, d. h. Linien vierten Grades, in denen das Product zweier nach einem Punkte gezogenen Fahrstriche einer beständigen Grösse für jede einzelne Curve gleicht[2]. Sie bilden Ovale, eingedrückte länglich runde Curven oder Achterfiguren je nach Verschiedenheit des Parameters. Die physikalischen Lehrbücher und Einzelwerke über Optik wiederholen daher, dass die senkrecht auf die Mittellinie geschnittenen zweiachsigen Platten Lemniscaten geben. Brandes[3] hat aber schon vor längerer Zeit hervorgehoben,

1. Herschel, *Phil. Transact.* 1820. p. 98—100. Taf. V. Fig. 6. Die Figur ist copirt in Biot, Experimentalphysik Bd. V, Taf. XIX. Fig. 17.

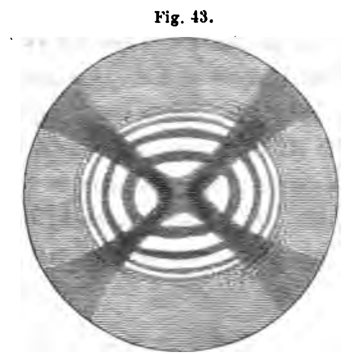
2. Herschel, Vom Licht S. 490.

3. Brandes in Gehlers physikalischem Wörterbuche. Bd. VII. Abth. II. Leipzig 1834. 8. S. 790.

dass sich die Curven nur bei einem kleinen Achsenwinkel Lemniscaten nähern, sonst dagegen von anderer Beschaffenheit sind. ZECH[1] gelangte zu gleichem Ergebnisse nach seinen allgemeinen Formeln. Wir werden daher in der Folge immer nur von lemniscatenähnlichen Curven reden, um wenigstens nicht zu sehr von dem gewöhnlichen Sprachgebrauche abzuweichen.

§. 191. Die geschlossenen Curven der zwei- und der einachsigen Krystalle, welche die senkrecht auf die Mittellinie oder die optische Achse geschliffenen Platten geben, verengern sich, wenn sie durch kürzere Wellen erzeugt werden, mithin von Roth nach Violett des Farbenspectrums. Dasselbe geschieht bei stärkerer Doppelbrechung der Masse. Wir haben also hier eine Analogie mit den NEWTONschen Ringen (§. 176). Schalten wir ein doppeltes Ueberfangglas (§. 168) so ein, dass die Grenzlinie der zwei Gläser dem Azimuthe 0^0 entspricht, so erscheint die rothe Hälfte des Curvenbildes weiter, als die blaue. Finden wir, dass eine Platte einen grösseren Werth für den Fahrstrich oder Halbmesser der ersten geschlossenen Curve unter sonst gleichen Verhältnissen der Dicke, des Lichtes und der Beobachtungsweise, als eine zweite liefert, so können wir eine schwächere Doppelbrechung der ersteren zuschreiben. Wird das Präparat sehr dünn, so rücken die Ringe weiter hinaus. Zweiachsige Körper zeigen dann erst in beträchtlicher Entfernung von den den Polen entsprechenden Mitten der Hyperbeln länglich runde Ringe, deren grössere Achse der Polarlinie entspricht. Da die meisten mikroskopischen Präparate nur bei geringer Dicke hinreichend durchsichtig sind, so hat man diesen Fall selbst für stärker doppelt brechende Körper. Fig. 43 gibt uns zum Beispiel das Bild, welches die an der Innenfläche der Schale

Fig. 43.



1. ZECH, Pogg. Ann. Bd. LXXXXVII. S. 133. Vgl. auch BILLET a. a. O. T. II. p. 598.

von *Nautilus flammatus* vorkommende Perlmuttermasse liefert. Sie besteht aus kohlensauerem Kalk, der in der Form des Aragonits krystallisirt. Die Dünne macht aber, dass Fig. 43 von dem in Fig. 40 S. 132 gezeichneten Bilde einer dickeren Aragonitplatte merklich abweicht.

§. 192. Die Zwillingsbildungen der Krystalle können eine Reihe eigenthümlicher hierher gehörender Erscheinungen hervorrufen. Aragonitplatten, die senkrecht auf die Mittellinie geschnitten sind, lassen nicht selten eine zweite, gegen die erste unter einem spitzen Winkel geneigte Polarisationsfigur mit vollkommenen Hyperbeln und lemniscatenähnlichen Curven nach der Verrückung oder einer Neigung auftauchen. Der Aragonit, der Salpeter, der Quarz, der Kalkspath und das doppelt kohlensauere Kali bilden nicht selten vermöge ihrer Zwillingsgestalten idiocyklophanische Krystalle oder Formen, in denen man die Ringe ohne allen Polarisationsapparat oder bei blosser Anwendung eines Zerlegers sehen kann. Ein dünnes Zwillingsstück durchzieht hier so den Krystall, dass der eine benachbarte Theil des letzteren den Polarisator und der entgegengesetzte den Analysator bildet[1]. Ein hier vorkommender Fall, den Dove[2] hervorgehoben hat, ist für uns insofern wichtig, als wir die Polarisationsfigur, die er liefert, in manchen Krystalllinsen wiederfinden. Schneidet die Achse des eingeschalteten Blättchens die der beiden anderen Stücke eines Kalkspathes unter spitzem Winkel, so gibt die ganze Krystallmasse eine ähnliche Zeichnung, wie wenn man ein Krystallblatt, z. B. ein Glimmerblättchen zwischen zwei centrirten senkrecht auf die Achse geschnittenen Kalkspathplatten unter passenden Azimuthen der Achsenebene eingeschaltet hat. Man bemerkt dann innen eine Achterfigur und andere Unregelmässigkeiten im Umkreise. Jene kann auch in einzelnen Krystalllinsen nach dem Eintrocknen auftreten.

---

1. Vgl. z. B. Herschel, Vom Licht S. 612—616. Radicke, Handbuch. Bd. I. S. 387—390.

2. Dove, Darstellung der Farbenlehre. Berlin 1853. 8. S. 237.

§. 193. Wir haben hier jetzt nur die Polarisationsfiguren, welche die Krystallplatten zeigen, berücksichtigt. Körper mit vorübergehenden oder bleibenden Spannungen (§. 104) liefern eine grössere Mannigfaltigkeit von Figuren, weil die Vertheilung der den Krystallindividuen entsprechenden kleinsten Elemente unendlich wechseln kann. Betrachten wir zunächst einige für uns wichtige Formen, die Neumann theoretisch bestimmt hat, so zeigt ein durch mechanische Gewalt gedrehter Cylinder bei dem Durchsehen längs der Achse und senkrechter Stellung der Polarisationsebenen des Apparates concentrische Ringe, deren Halbmesser sich annähernd wie die Quadratwurzeln aus den ungeraden und den geraden Zahlen verhalten (§. 184) und sich mit dem Torsionswinkel nahezu umgekehrt ändern. Die Arme des schwarzen Kreuzes sind unter 45° zu den Polarisationsebenen geneigt[1].

Die Spannungen, welche in einer ungleich erwärmten Kugel entstehen, liefern auch ein Kreuz und Ringe mit Durchmessern, die den Quadratwurzeln der natürlichen Zahlen folgen. Sie sind positiv, wie im Bergkrystall, wenn die mittlere Temperatur von dem Mittelpunkte nach dem Umkreise wächst und negativ, wenn das Umgekehrte stattfindet. Man hat daher das erstere, wenn man die Kugel in eine wärmere und das letztere, wenn man sie in eine kältere Flüssigkeit versenkt[2]. Der gleiche Unterschied wiederholt sich in gepressten Hohlkugeln, je nachdem der innere oder der äussere Druck grösser ausfällt[3].

Ein Kreisring zeigt eine neutrale Zone bei stationärer Wärmevertheilung. Nimmt die Temperatur vom inneren zum äusseren Rande beständig ab, so sind die Farben innerhalb der neutralen Zone negativ und ausserhalb positiv. Man hat das Umgekehrte bei der Wärmevergrösserung[4]. Ein nicht von Speichen getragener

---

1. F. E. Neumann, Die Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimirten oder ungleichförmig erwärmten unkrystallinischen Körpern. Berlin 1843. 4. S. 9. 10 und S. 80—84.

2. Neumann a. a. O. S. 100.

3. Neumann S. 110.

4. Neumann S. 11 und 125 ff.

oder freier Kreisring, der ungleich erwärmt ist, theilt sich durch einen neutralen Durchmesser in zwei Hälften. Die eine von diesen liefert positive Farben auf der concaven und negative auf der convexen Seite, die andere umgekehrt[1].

§. 194. Gläser, die durch rasche einseitige Abkühlung in bleibende Spannungen versetzt worden, erzeugen Polarisationsbilder, die man bisweilen SEEBECKsche Figuren nennt, weil sie von SEEBECK und BREWSTER gleichzeitig entdeckt worden[2]. NEUMANN[3] findet, dass sich eine gehärtete Kugel und ein gehärteter gerader Cylinder im polarisirten Lichte so verhalten, als wären sie nicht gehärtet und als hätten sie eine von dem Mittelpunkte oder der Achse aus steigende Temperatur. Ihre Farbenringe sind daher positiv (§. 193). Gehärtete lange Glasstreifen haben eine Farbenvertheilung von demselben Charakter, den sie ungehärtet zeigen würden, wenn sie mit einem Längenrande auf eine heisse Unterlage gestellt worden wären. Manche dieser Sätze lassen sich, wie wir sehen werden, auf die Spannungen anwenden, welche die Wachsthumserscheinungen oder das Eintrocknen in einzelnen organischen Körpern hervorrufen[4].

§. 195. BREWSTER, der zuerst keine merklichen Veränderungen der doppelt brechenden Wirkungen im Kalkspathe, dem Quarze, dem Topase und dem Beryll durch Druck erzeugen konnte[5], machte später, ebenso wie BIOT[6], glücklichere Erfahrungen und sprach den Gedanken aus, dass sich die Doppelbrechung durch Druck zu der ursprünglich vorhandenen hinzuaddire. ÅNGSTRÖM[7] bemerkte, dass eine zusammengedrückte, senkrecht gegen

1. NEUMANN S. 12 und 148.

2. Siehe GEHLERS physik. Wörterbuch Bd. VII. Abth. II. 1834. S. 811.

3. NEUMANN a. a. O. S. 24.

4. Ueber andere Figuren in gepressten und gekühlten Gläsern siehe z. B. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1816. p. 46—114 und 1816. p. 156. RADICKE a. a. O. Bd. I. S. 397—406 und die Beobachtung derselben in circularem Lichte DOVE, Farbenlehre S. 239. 40.

5. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1816. p. 167.

6. HERSCHEL, Vom Licht S. 630. 31. Gehlers Wörterbuch a. a. O. S. 824.

7. ÅNGSTRÖM, Pogg. Ann. Bd. XC. 1853. S. 594. 95.

die Achse geschnittene Bergkrystallplatte zweiachsig wird, die Drehung ihrer Polarisationsebene aber nicht ab- sondern zunimmt. Pfaff[1] fand, dass der Druck einen auch nach dem Aufhören desselben bleibenden Wechsel der doppelt brechenden Eigenschaften nur in dem Kalkspathe und dem Salpeter erzeugen konnte. Wirkte er senkrecht auf die optische Achse, so ging das dunkele Kreuz in zwei Hyperbeln auseinander, während die Ringe elliptisch wurden. Die gegenseitige Entfernung der Scheitel der Hyperbeln oder die quere Achse derselben und die längeren Achsen der Ellipsen fielen in die Druckrichtung bei positiven einachsigen Krystallen, wie dem Quarze, dem Apophyllit und zum Theil dem Zirkon und senkrecht auf jene in den negativen, wie dem Kalkspathe, dem Beryll, dem Turmalin und dem Honigstein. Wir werden in dem vierten Abschnitte sehen, dass das Gleiche in den positiven und den negativen Linsenpräparaten wiederkehrt. Noch stärkerer Druck erzeugte Achterfiguren statt Ellipsen. Die Platten des Kalkspathes behielten später eine vierfache und die des Salpeters eine fünffache Brechung bei.

§. 196. Dünne Blättchen schwach doppelt brechender Körper können nur geringe Gangunterschiede und zwar nahezu die gleichen in ihrer ganzen Ausdehnung darbieten. Diese sogenannten verzögernden oder retardirenden Blättchen geben glatte Farben oder solche, die sich gleichförmig über ihre ganze Oberfläche für die stumpfe Auffassung unseres Auges ausdehnen. Die Färbung wird ihre grösste Lichtstärke bei der Orientation des Hauptschnittes oder der Achsenebene unter $\pm 45^0$ und ihre geringste bei 0^0 und 90^0 darbieten, wenn die Platten nicht senkrecht auf die optische Achse geschnitten sind.

§. 197. Die Gyps- und die Glimmerblättchen, die man für die Herstellung eines lebhaft und gleichförmig gefärbten Grundes, die Erkenntniss der Richtung der optischen Achse oder die

---

1. Pfaff, Pogg. Ann. Bd. CVII. 1859. S. 333—38 und Bd. CVIII. 1859. S. 598—600.

Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung häufig braucht, gehören zu diesen verzögernden Blättchen. Die Ebene der Spaltrichtung, in der sich die zweiachsigen und positiven Gypsblättchen sondern, enthält die optischen Achsen, so dass man die gegen sie senkrechte, durch die Mittellinie gehende Achsenebene als Hauptschnitt ansieht. Die natürlichen Spaltflächen des zweiachsigen negativen Glimmers stehen senkrecht auf der Ebene der optischen Achsen, die meist unter einem Winkel von 22°,5 gegen ihre Oberfläche geneigt sind. Der Hauptschnitt ist hier durch die optische Achsenebene gegeben.

§. 198. Die Farben dieser Blättchen entsprechen natürlich annähernd denen der Newtonschen Ringe (§. 174) und zwar denen des zurückgeworfenen Lichtes bei senkrechten und denen des durchgegangenen bei parallelen Polarisationsebenen (§. 184). Sie erreichen ihre grösste Lebhaftigkeit bei der Einstellung ± 45°. Da die gleichen oder wenigstens einander nahestehende Farben in den verschiedenen Ordnungen der Newtonschen Ringe vorkommen, so lässt sich nicht unmittelbar sagen, welcher Ordnung die Farbe, die ein verzögerndes Blättchen von gegebener Dicke erzeugt, angehört. Das Blauviolett, das man als Uebergangsfarbe bezeichnet, findet sich z. B. in der ersten Hälfte der zweiten, schärfer am Anfange der dritten und nicht ganz rein in der fünften Ordnung (§. 174). Man hat aber ein einfaches Mittel, sich vor Irrthümern in solchen Bestimmungen zu sichern.

Fig. 44.

Gesetzt wir gebrauchten einen undurchsichtigen Plattensatz *a b* Fig. 44 als Polarisator und einen durchsichtigen *c d* als Analysator, so gehen die unter dem Polarisationswinkel einfallenden Strahlen *e f* längs der Achse des Instrumentes *f g* dahin. Man hat den vom Zerleger zurückgeworfenen Strahl in *g h* und den durch Brechung erzeugten entge-

gengesetzt polarisirten in *gi*. Schaltet man ein Gyps- oder ein Glimmerblättchen *kl* unter ± 45° auf dem Wege ein, so gibt *gh* das dem dunkelen Gesichtsfelde entsprechende ausserordentliche und *gi* das dem hellen Gesichtsfelde angehörende ordentliche Bild, wenn die beiden Polarisationseben der zurückwerfenden Spiegel rechtwinkelig gekreuzt sind. Der Strahl *fg* durchläuft hier nur die einfache Dicke des Blättchens. Legen wir es aber jetzt auf einen hinten undurchsichtigen Spiegel *mnp*, so fällt ein Strahl *hg* auf den unter dem Polarisationswinkel eingestellten Zerleger, wird polarisirt längs *gn* zum ersten und vermöge des Spiegels *mnp* in *ng* zum zweiten Male zurückgeworfen und in *gi* gebrochen. Das Auge, welches das gebrochene Bild von *i* aus beobachtet, sieht daher jetzt das ordentliche, welches der doppelten Dicke des Blättchens *kl* entspricht. Dreht man den Zerleger *cd* um 90°, so erhält man das ergänzende ausserordentliche. Eine Farbe einer bestimmten Ordnung ändert sich aber dabei in eigenthümlicher Weise, die von der verwandten Färbung einer anderen Ordnung abweicht[1].

Fig. 41.



Wir wollen die Sache an zwei Beispielen von Blättchen, die wir später häufig benutzen werden, näher erläutern. Nennen wir die Farbe des ordentlichen Bildes *O* und die des ausserordentlichen *E*, so gibt mir ein Gypsblättchen ein sehr feueriges Roth für *E* und ein lichtstarkes Blassgrün für *O* bei einfacher und ein blasseres mit etwas Orange gemischtes Roth für *E* und Grün für *O* bei doppelter Dicke. Die §. 174 aufgestellte Tabelle lehrt aber, dass das erste Farbenpaar dem Roth erster Ordnung entspricht, das ungefähr den

1. Der gewöhnliche NÖRRENBERGsche oder der von REUSCH (Pogg. Ann. Bd. XCII. 1854. S. 336) angegebene Polarisationsapparat kann zu solchen Versuchen gebraucht werden. Man beobachtet in dem ersteren mit einfacher Dicke, wenn die Platte auf dem oberen Tische und mit doppelter, wenn sie auf dem unteren Spiegel liegt.

Luftwerth 536 hat und das zweite einem solchen zweiter Ordnung, der zwischen 998 und 1101 liegt. Da 2×536=1072 ist, so beweist dieses, dass unser Gypsblättchen ein solches Roth erster Ordnung bildet. Wir werden es immer kurz als rothes Gypsblättchen in der Folge anführen.

Ein Glimmerblättchen für ¼ Wellenlänge Gangunterschied für gelbe Strahlen oder, wie wir es kürzer bezeichnen wollen, ein ¼ Glimmerblättchen zeigt Graublau für E und Hellgelb mit einem Stich in das Bräunliche für O bei einfacher, dagegen Strohgelb für E und Blauviolett für O bei doppelter Dicke. Wir sehen wiederum aus §. 174, dass jener Fall zwischen 97 und 158 der ersten und dieser bei 281 der zweiten Hälfte der ersten Ordnung liegt. Wir werden daher unser Glimmerblättchen als Graublau der ersten Ordnung mit ungefähr 140 bezeichnen. Billet[1] gibt 137,5 an.

§. 199. Dieses Verfahren liefert ein Mittel, die Dicke der verzögernden Blättchen theoretisch zu bestimmen. Man braucht nämlich nur den Dickenwerth der Luftschicht, welche ihrer Farbe in den Newtonschen Ringen entspricht, mit einem von der Beschaffenheit ihrer Masse abhängigen Coëfficienten zu vervielfältigen. Die Zahl ist nach Biot 109 für den Quarz, 115 oder 128 für den Gyps und 220 für den Glimmer.

Die Uebergangsfarbe, die man gewöhnlich benutzt, ist die der dritten Ordnung, welche den Werth 1128 gibt (§. 174). Die Dicke einer Quarzplatte, die sie als ausserordentliches Bild oder bei gekreuzten Polarisationsebenen erzeugt, gleicht daher 0,001128×109 =0,123 Millimeter. Man findet ebenso 0,130 bis 0,144 Mm. für Gyps und 0,248 Mm. für Glimmer. Das rothe oben erwähnte Gypsplättchen von dem Werthe 536 hat eine theoretische Dicke von 0,061 bis 0,069 Mm. und das ¼ Glimmerblättchen eine solche von 0,030 Mm.

§. 200. Die Untersuchung bei einfacher und bei dop-

---

1. Billet, *Traité d'Optique physique.* Tome II. p. 12.

pelter Dicke nützt noch in manchen anderen Fällen, die uns in den organischen Präparaten ebenfalls begegnen werden. Da die Gangunterschiede mit der Höhe der Platte zunehmen, so verengern sich die Ringe bei doppelt so grosser Dicke. Man sieht sie daher bisweilen auftreten, wenn sie bei einfacher Dicke mangeln. Es kommt in gekühlten Glascylindern, wie in Linsenpräparaten vor, dass manche Unregelmässigkeiten der Polarisationsringe erst bei doppelter Dicke bemerkt werden. Man kann endlich nach dem Verfahren von SOLEIL[1] auf diesem Wege bestimmen, ob eine senkrecht auf die optische Achse geschnittene Quarzplatte, wie man sie für das Studium der Drehung der Flüssigkeiten braucht (§. 85), gut ist oder nicht. Wir haben §. 86 gesehen, dass die Circularpolarisation des Quarzes daraus erklärt wurde, dass ein rechts kreisförmig polarisirter Strahl einem links polarisirten in einem links drehenden und umgekehrt in einem rechts drehenden längs der Achse voraneilt. Haben wir eine rechtsdrehende Platte auf den Spiegel *mnp* Fig. 44 S. 139 gelegt, so kehrt sich natürlich das Verhältniss bei der Reflexion um. Beobachten wir bei doppelter Dicke, so ist es unter diesen Verhältnissen ebensogut, als hätten wir eine rechts- und eine linksdrehende Quarzplatte von gleicher Dicke übereinander gelegt. Die Regelmässigkeit der AIRYschen Spiralen (§. 185), welche auf diese Weise zum Vorschein kommen, wird gestört, sowie die Begrenzungsflächen der Quarzplatte nicht genau senkrecht auf der optischen Achse stehen.

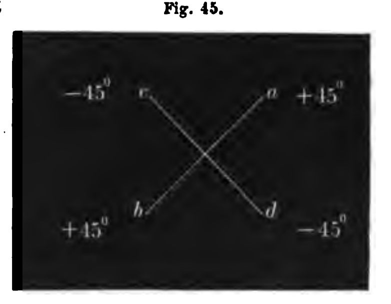
§. 201. Dreht man eine nicht senkrecht auf die optische Achse oder die Mittellinie geschliffene Platte in ihrer Ebene und um die zu dieser senkrechte Achse des Polarisationsapparates im Kreise herum, so erhält man bei gekreuzten Polarisationsebenen zwei Minima und zwei Maxima der Helligkeit und zwar jene, wenn die beiden ausgezeichneten Ebenen unter 0^0 und 90^0 und diese, wenn sie unter $\pm 45^0$ orientirt sind (§. 59. 60). Die eine von ihnen entspricht dem Hauptschnitte. Man kann aber nicht unmittelbar entscheiden, welche von beiden und viel weniger, wie die

1. SOLEIL, Pogg. Ann. Bd. XCVII. 1856. S. 155—157.

optische Achse dahingeht. Da man die Lage von dieser genau kennen muss, ehe man sich eine sichere Deutung einer Polarisationsfigur, vorzüglich vieler organischer Präparate und eine zuverlässige Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung erlauben darf, so muss man seine Hauptaufmerksamkeit auf die Ermittelung dieses Punktes richten. Wir werden sehen, dass man hier oft nur auf Umwegen oder gar nicht bei mikroskopischen Studien der Pflanzen und der Thiere zum Ziele gelangt. Das Verfahren von MALUS[1] und überhaupt alle Methoden, welche die Messung der Ablenkung der Strahlen durch Prismen voraussetzen, fallen natürlich in mikroskopischen Präparaten von selbst hinweg. Man kann sich dagegen in Einzelfällen einer Prüfungsweise bedienen, die zuerst BIOT[2] für Glimmerblättchen in Anwendung brachte.

§. 202. Nehmen wir an, wir hätten eine planplane doppelt brechende Platte, die glatte Farben in dem Polarisationsapparate gibt, auf das Maximum der Lichtstärke oder der Färbung eingestellt, so kann der Hauptschnitt nur in $+45^0$ oder in -45^0 dahingehen. Drehe ich jetzt die Platte um eine dieser beiden Richtungen, so dass sie schief zur Achse des Polarisationsinstrumentes oder von oben nach unten zu stehen kommt, so haben die Strahlen einen längeren Weg zu durchlaufen, die Drehung möge um ab oder $+45^0$ oder um cd oder -45^0 stattgefunden haben. Die Farben werden in der Reihe der NEWTONschen Ringe steigen, wenn die Drehungsachse in dem Hauptschnitte lag und sinken, wenn sie senkrecht darauf steht, weil der sie bedingende Gangunterschied im ersteren Falle durch die Drehung seinem Zeichen nach nicht verändert, im zweiten dagegen umgekehrt wird. Die Drehung um die erste ausgezeichnete Ebene

Fig. 45.

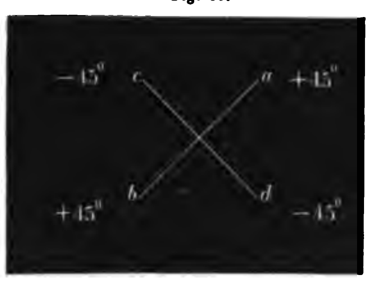


1. Siehe z. B. BIOT, Lehrbuch der Experimentalphysik. Uebersetzt von FECHNER. Zweite Auflage. Bd. V. Leipzig 1829. 8. S. 140.

2. BIOT a. a. O. S. 189—191.

wirkt also wie eine Verdickung und die um die zweite wie eine Verdünnung der Platte.

Fig. 45.



Drehe ich z. B. das oben erwähnte rothe Gypsblättchen um die Achse + 45°, so erhalte ich der Reihe nach Violett, Indigo, Blau und Grün, mithin ein Steigen der Farben (§. 174). Die Drehung um die Achse —45° liefert Orangegelb, Gelb, Grauweiss, also ein Sinken. Die Achsenebene entspricht daher der Richtung, die in dem Durchmesser + 45° dahingeht.

+ 45° als Drehungsachse des ¼ Glimmerblättchens erzeugte Grauweiss, Gelb, Orangegelb, Roth, Violett und Blau und —45° ebenso gebraucht Grau, Schwarz und Gelb. Die Achsenebene geht also in der Richtung + 45° dahin.

§. 203. Kann man das Ablenkungsverhältniss beider Strahlen einer doppelt brechenden Masse auf dem Wege der Messung unmittelbar bestimmen, so ergibt sich hieraus der Charakter ohne weiteres, weil der grössere Werth des Brechungscoëfficienten dem ausserordentlichen Strahle in positiven und dem ordentlichen in negativen Körpern angehört (§. 50). Die Schwierigkeit solcher Bestimmungen in vielen und die Unmöglichkeit derselben in anderen Fällen haben darauf geführt, neue Verfahrungsarten zu ersinnen, durch die das gleiche Ziel erreicht wird[1]. Alle für unsere Zwecke brauchbaren Methoden beruhen auf der Grundlage der directen oder der indirecten Compensation.

§. 204. Fügt man eine zweite Platte von bekanntem Charakter einer ersten zu prüfenden so zu, dass die optischen Achsen beider in gleichen Richtungen dahingehen, oder hat man, wie man sich

1. Ueber die Methoden, für welche Prismen geschnitten werden müssen, siehe Billet, *Optique physique*. Tome I. p. 347, Grailich, Krystallographisch optische Untersuchungen. Wien und Olmütz 1858. 8. S. 201. 202.

ausdrückt, eine parallele Verdoppelung, so wird das Ganze wie eine Verdickung wirken, wenn die beiden Platten den gleichen und wie eine Verdünnung, wenn sie den entgegengesetzten Charakter haben. Ist das erstere der Fall, so eilt in beiden der ordentliche Strahl dem ausserordentlichen voran, wenn der Charakter der zwei Platten positiv und bleibt zurück, wenn er negativ ist (§. 48). Der Gangunterschied vergrössert sich also. Man hat die Wirkung einer seinem neuen Werthe entsprechenden dickeren Platte. Ist die Prüfungsplatte positiv und die bekannte Platte negativ oder umgekehrt, so besitzt der Gangunterschied der einen ein positives Zeichen, wenn der der anderen ein negatives darbietet. Die Summe verkleinert sich desshalb. Beide Platten zusammen wirken wie eine dünnere Platte.

§. 205. Die indirecte Compensation beruht auf der Untersuchung in elliptisch oder kreisförmig polarisirtem Lichte. Wir haben §. 27 gesehen, dass diese beiden Lichtarten durch Gangunterschiede erzeugt werden, die kein Vielfaches einer halben Wellenlänge betragen. Die Grössen der Unterschiede unter oder über einer halben Wellenlänge bestimmen es, ob man rechts oder links circulares oder elliptisches Licht hat (§. 27). Ein ähnlicher Phasenunterschied besteht zwischen dem ordentlichen und dem ausserordentlichen Strahle. Man wird also in rechts circularem oder rechts elliptischem Lichte die gleichen Veränderungen für positive Körper erhalten, welche negative in links circularem oder links elliptischem liefern und umgekehrt[1].

§. 206. Die einfachste Combination besteht in der von Biot[2] zuerst gebrauchten Einschaltung einer zur Farbenerzeugung dienenden Ergänzungs- oder Compensationsplatte. Gesetzt wir hätten eine Platte, die keine glatten Farben gibt, sie aber bei etwas geringerer Dicke darbieten würde, so braucht man nur eine Ergänzungsplatte von passender Dicke und bekanntem Charakter

1) Dove, Dartellung der Farbenlehre. Berlin 1853. 8. S. 242–44.

2) Biot, *Traité*. Tome IV. 1816. p. 419. 20. Experimentalphysik. Bd. V. S. 180. Billet, *Physique optique*. Tome I. p. 351.

einzuschalten. Entstehen die Farben, wenn die optischen Achsen parallel laufen, so haben die Platten den entgegengesetzten Charakter, weil die Färbung eine Verdünnung voraussetzt. Sind beide positiv oder beide negativ, so werden sich die Farben zeigen, wenn sich ihre optischen Achsen rechtwinkelig kreuzen oder wenn man, wie man sagt, eine gekreuzte Verdoppelung hat.

§. 207. GRAILICH[1] nimmt eine dicke Quarzplatte, deren Hauptrichtungen bekannt sind, bringt sie oberhalb der zweiachsigen, unter $\pm 45^0$ orientirten und daher das hellste Gesichtsfeld gebenden Platte an und dreht sie zuerst um die eine und dann um die andere der beiden auf einander rechtwinkeligen Hauptrichtungen. Da die kleinere der zwei in der Ebene der zweiachsigen Platte befindlichen Elasticitätsachsen derjenigen Neigungsachse des Quarzes parallel ist, welche hyperbolische Interferenzcurven in der Mitte des Gesichtsfeldes zum Vorschein bringt oder sie, wenn sie schon vorhanden sind, erweitert oder verengert, so wechseln die dieses bewirkenden Neigungsachsen, je nachdem der Körper positiv oder negativ ist. Ich habe eine zu dieser Prüfung besonders verfertigte dicke Bergkrystallplatte bei den verschiedensten zweiachsigen Körpern gebraucht, kann aber nicht sagen, dass mich das Verfahren in allen Fällen mit Sicherheit leitete.

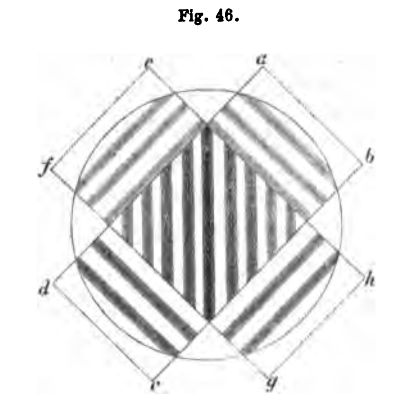
§. 208. BIOT[2] war der erste, der einen Quarzkeil einschob und so immer dickere Stellen desselben unter die prüfende Platte brachte, um den Charakter nach den Farben zu beurtheilen. Denken wir uns, wir hätten einen Keil aus dem positiven Bergkrystall (oder dem positiven Gypse), dessen Kante der optischen Achse parallel ist und der die NEWTONschen Farben seiner Dünne wegen gibt, in den Polarisationsapparat gebracht. Legen wir einen doppelt brechenden einachsigen, hinreichend dünnen Körper, der ein Farbenfeld des Quarzes nicht ausfüllt, so auf, dass seine optische Achse der des Keiles parallel geht, so wird er positiv sein, wenn

1. GRAILICH a. a. O. S. 45 – 47.
2. BIOT, Experimentalphysik. Bd. V. S. 182.

er eine höhere Farbe als die des Grundes oder selbst weiss zeigt und negativ, sowie die Farbe sinkt, weil die Wirkung einer Verdickung im ersten und die einer Verdünnung im zweiten Falle eingreift. Kreuzt dagegen die optische Achse des Prüfungskörpers die des Keiles rechtwinkelig, so hat man das Umgekehrte in jeder Beziehung. Sind die beiden optischen Achsen parallel und wir verschieben den Keil von der dünneren Kante nach seinem dickeren Theile, so werden die Farben des Prüfungskörpers rascher als die des Grundes steigen, wenn die untersuchte Masse positiv und langsamer, wenn sie negativ ist. Man hat das Entgegengesetzte, wenn sich die beiden optischen Achsen rechtwinkelig schneiden [1].

§. 209. Der Gedanke, aus der Verbindung zweier Quarzprismen mit rechtwinkelig sich kreuzenden optischen Achsen Vortheil zu ziehen, stammt schon aus dem vorigen Jahrhundert. Er liegt dem jener Zeit angehörenden Rochon'schen Mikrometer für Fernröhre zum Grunde. Man hat ihn später auch für die feineren Studien der Polarisationseigenschaften des Lichtes benutzt. Der Babinet'sche [2] und der Wollaston'sche [3] Compensator fussen auf ihm. Eine Verbindung zweier Quarzkeile kann zur Erkenntniss des Charakters der Doppelbrechung in zweifacher Weise benutzt werden.

Fig. 46.



§. 210. Man kreuzt zwei gleiche Quarzkeile *abcd* und *efgh* Fig. 46, deren optische Achsen den Kanten *ab* und *ef* parallel sind, unter rech-

1. Ueber den Gebrauch eines solchen Quarzkeiles für zweiachsige Körper siehe Sénarmont, *Ann. de Chimie. Troisième Série.* Tome XXIII. 1851, p. 400. 401.

2. A. Beer, Einleitung in die höhere Optik. Braunschweig 1853. 8. S. 117—140.

3. Billet a. a. O. Tome I. p. 491.

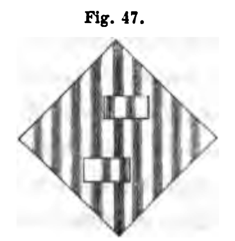
tem Winkel. Der eine wirkt dann verdünnend auf den anderen. Dieses gewährt den Vortheil, dass noch Farben an dickeren Stellen erhalten werden oder dickere Keile zu gebrauchen sind. Die Färbungen erreichen die grösste Lebhaftigkeit bei der Orientation der beiden Keile unter $\pm 45^0$. Diese Vorrichtung wiederholt zunächst die Erscheinungen des einfachen Gypskeiles. Kann der eine der beiden Keile verschoben werden und liegt die optische Achse des kleinen Gegenstandes seiner optischen Achse parallel, so erhält man bei dem Fortrücken von einer dünneren zu einer dickeren Stelle zuerst die Farbenänderung im Gegenstande und dann im Grunde, wenn der Prüfungskörper positiv und das Umgekrte, wenn er negativ ist. Kreuzt die optische Achse des letzteren die des verschiebbaren Quarzkeiles, so findet man das Entgegengesetzte. Brücke[1] bediente sich dieser Vorrichtung für die Muskeln und W. Müller[2], der eine Quarzplatte statt des unteren Quarzkeiles nahm, für die Knochen und andere Gewebe.

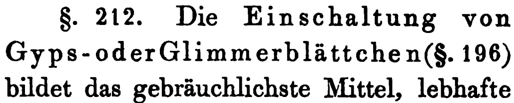
§. 211. Da der Gangunterschied des einen Quarzkeiles gerade der entgegengesetzte des anderen ist, wenn die optischen Achsen beider einander rechtwinkelig durchkreuzen und gleiche Dicken der zwei Prismen einander decken, so hat man einen dunkelen Streifen an der dieser letzteren Bedingung entsprechenden Stelle in weissem Lichte. Wo die übrigen Orte einen wirksamen Rest übrig behalten, erhält man farbige Bänder zu beiden Seiten in weissem und schwarze Streifen in einfarbigem Lichte, wie sie Fig. 46 bei dem Gebrauche eines rothen Ueberfangglases darstellt. Wird nun ein doppelt brechender positiver Körper unter diese Vorrichtung, die man bisweilen unter dem nicht richtigen Namen des Wollastonschen Compensators angeführt findet, so eingeschoben, dass z. B. seine optische Achse der des unteren Keiles parallel ist, so wirkt er wie eine Verdickung des letzteren. Der schwarze Streifen verschiebt sich daher nach der Seite, wo auch eine dickere

1. Brücke, Denkschriften der Wiener Akademie. Bd. XV. 1858. 4. S. 73.
2. W. Müller, Henle und Pfeuffers Zeitschrift. Dritte Reihe. Bd. X. 1860. S. 178.

Stelle des oberen Keiles vorhanden ist. Ein negativer Körper führt die entgegengesetzte Verrückung herbei. Beide Arten der Verschiebung sind in Fig. 47 unter den aufgelegten Blättchen dargestellt.

Fig. 47.





§. 212. Die Einschaltung von Gyps-oder Glimmerblättchen (§. 196) bildet das gebräuchlichste Mittel, lebhafte Polarisationsfarben hervorzurufen und über den Charakter doppelt brechender mikroskopischer Pflanzen oder Thiergewebe zu entscheiden. Man orientirt das verzögernde Blättchen unter $\pm 45^0$. Der Gyps ist im Allgemeinen dem Glimmer vorzuziehen, weil er weit lebhaftere Farben liefert. Die Farbe, welche die Prüfungsplatte allein gibt, steigt, wenn ihr Hauptschnitt der Achsenebene des verzögernden Blättchens parallel ist und beide den gleichen Charakter haben. Sie sinkt bei rechtwinkeliger Kreuzung oder entgegengesetztem Charakter[1].

Da der Gyps positiv ist, so besitzt der Prüfungskörper den positiven Charakter bei Parallelismus des Hauptschnittes und der Achsenebene und dem Steigen der Farbe, z. B. von Roth erster Ordnung zu Blau und den negativen bei rechtwinkeliger Kreuzung und demselben Steigen oder bei Parallelismus und Sinken, z. B. jenes Roth zu Gelb. Die in jeder Beziehung entgegengesetzten Schlüsse gelten für den negativen Glimmer. Man kann aber nicht eher von wahrer positiver oder negativer Beschaffenheit reden, als bis man die Richtung der optischen Achse oder die des Hauptschnittes kennt. Die in der Pflanzenphysiologie gebrauchten Ausdrücke positiver und negativer Merkmale[2] sind daher nach diesem Maassstabe aufzufassen.

§. 213. Eine senkrecht auf die Achse geschnittene Platte hat

1. Eine Verbindung des Gebrauches eines Gypsblättchens mit der Drehung einer Prüfungsplatte siehe SÉNARMONT a. a. O. p. 397. BILLET a. a. O. Tome II. p. 620.

2. MOHL, Botanische Zeitung. 1858. S. 10.

natürlich einen Hauptschnitt in der Richtung eines jeden beliebigen Halbmessers. Schaltet man ein verzögerndes Blättchen ein, so findet sich immer ein Hauptschnitt, der der Achsenebene parallel und einer, der senkrecht auf ihr ist. Jener wird daher ein Steigen und dieser ein Fallen der Farbe darbieten, wenn beide Platten den gleichen Charakter besitzen und man hat das Umgekehrte bei entgegengesetztem Charakter. Der stumpfe Farbensinn unseres Auges bedingt es aber, dass sich jede dieser entgegengesetzten Färbungen auf eine gewisse Fläche scheinbar gleichartig ausdehnt.

§. 214. Verbindet man eine einachsige, auf die optische Achse senkrechte Platte von bekanntem Charakter mit der zu prüfenden, senkrecht auf die Mittellinie einer zweiachsigen oder die optische Achse einer einachsigen geschnittenen Platte, so verengern sich die Ringe bei gleichem Charakter, weil sich die Dicken beider Platten summiren und erweitern sich bei entgegengesetztem (§. 184). Dieses zuerst von Brewster[1] angegebene Verfahren wird in seiner Anwendung häufig eingeschränkt, weil beide Platten vollkommen centrirt und gleichartig über einander gelegt sein müssen, wenn sichere Erfolge auftreten sollen. Ich habe es aber gerade bei mikroskopischen Untersuchungen mit Nutzen gebraucht.

§. 215. Da die circular polarisirenden Eigenschaften des Quarzes häufig stören, so nehme ich statt dessen eine senkrecht auf die Achse geschnittene farblose und reine Platte des ebenfalls positiven unterschwefelsaueren Bleioxydes von ungefähr einem Centimeter Durchmesser. Legte ich sie ohne besondere Vorsichtsmaassregel auf das Ocular des Nörrenberg schen Polarisationsmikroskopes, so liess sich die Verengerung der Ringe in senkrecht auf die Achse geschnittenen Platten von Zirkon, Zinnstein und Phenakit und die Erweiterung in solchen von Kalkspath, (scheinbar einachsigem) Glimmer, Honigstein, einem grünen brasilianischen und einem rothen Turmalin von Elba leicht wahrnehmen. Die Prüfung fiel dagegen bei dem Hyacinth, dem Dioptas, dem

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1818. p. 216.

Beryll, endlich bei einer Quarzplatte, die das Kreuz im innersten Ringe ihrer Dünne wegen gab (§. 185), unsicher aus.

Bringe ich den innersten Ring einer völlig ausgetrockneten Fischlinse in den Kreuzungspunkt der Mikrometerfäden eines gewöhnlichen Polarisationsmikroskopes und schiebe die Platte des (positiven) unterschwefelsaueren Bleioxydes darüber ein, so sieht man sehr schön, wie der Farbenring von dem Kreuzungspunkte nach aussen zurückweicht. Man hat also eine Erweiterung. Wiederholt man den Versuch mit einer (negativen) Kalkspathplatte, so erhält man eine Verengerung. Beide Prüfungen stimmen also in dem Zeugnisse überein, dass das ausgetrocknete Linsenpräparat negativ ist (§. 238).

BILLET[1] empfiehlt vor Allem ein zusammengedrücktes Glas als negativen Körper in solchen Fällen anzuwenden. Ich kann diesem nicht beistimmen.

Es ergibt sich aus den Formeln von LANGBERG[2], dass man die gleiche Probe für Platten, die parallel zur Achse geschliffen sind, benutzen darf.

§. 216. Das, theoretisch genommen, beste und für Messungen allein brauchbare Mittel, sich circular polarisirtes Licht zu verschaffen, besteht in der Anwendung des FRESNELschen Parallelepipeds[3], das aus Crownglas mit einem mittleren Brechungsexponenten von 1,51 verfertigt wird. Man hat in ihm zwei gänzliche innere Zurückwerfungen eines zur Endfläche senkrecht eintretenden Strahles, da hier der Einfallswinkel $54\frac{1}{2}^0$ beträgt (§. 75), und bei jeder eine Verzögerung von $\frac{1}{8}$ Wellenlänge, also im Ganzen von $\frac{1}{4}$, oder die Grundbedingung des circular polarisirten Lichtes (§. 27) eintritt. Man kann daher dieses für jede beliebige Farbe des einfallenden Strahles herstellen. Anders verhält sich die Sache mit den zuerst von AIRY zu dem gleichen Zwecke gebrauchten Glim-

---

1. BILLET a. a. O. Tome I. p. 349 und 494.
2. LANGBERG in Pogg. Ann. Ergänzungsband zu Bd. LI. 1842. S. 542—44.
3. FRESNEL, *Ann. de Chimie.* Tome XLVI. 1831. p. 243 und Pogg. Ann. Bd. XXII. 1831. S. 100. 103. 107 u. 122. Eine theoretische Erläuterung desselben gibt WILDE in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. 1853. S. 241—45. Vgl. auch RADICKE a. a. O. Bd. I. S. 176—79.

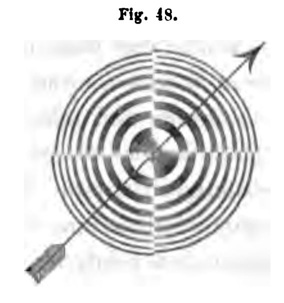
merblättchen. Man ist im Stande, diesem eine Dicke annäherungsweise zu geben, die einen Gangunterschied von $^1/_4$ oder von $^3/_4$ Wellenlänge bedingt. Die letztere wechselt aber mit den Farben. Man kann daher im glücklichsten Falle nur ein Glimmerblättchen herstellen, das nahezu circular polarisirtes Licht für eine einzige Farbe liefert. Das lichtstarke und im Innern des Spectrums befindliche Gelb dient hierzu am besten. Es ist dieses die Art von verzögerndem Blättchen, die wir schon §. 198 unter der Bezeichnung $^1/_4$ Glimmerblättchen aufgeführt haben. Steht die Achsenebene eines solchen Blättchens unter 0^0 oder 90^0, so hat man linear polarisirtes Licht. Befindet sie sich unter $+ 45^0$, so erhält man rechts circular polarisirtes Licht. Die Einstellung -45^0 liefert links circular polarisirtes Licht. Die Zwischengrade geben elliptisch polarisirtes Licht. Dreht man also das unter 0^0 eingestellte $^1/_4$ Glimmerblättchen von 0^0 nach 45^0, so führt man auf diese Art allmählig das linear polarisirte Licht durch elliptisches in circular polarisirtes über. Die gleiche Veränderung lässt sich auch durch ein Fresnelsches Parallelepiped hervorrufen.

§. 217. Leitet man circular polarisirtes Licht zu einer Platte und untersucht sie mit einem gewöhnlichen Zerleger, so nennt man dieses die lineare Analyse bei circularer Polarisation. Ist das zur Platte gehende Licht linear und das zum Zerleger tretende wegen der Einschaltung eines Fresnelschen Parallelepipeds oder eines $^1/_4$ Glimmerblättchens circular polarisirt, so spricht man von circularer Analyse des linear polarisirten Lichtes. Man analysirt das circular polarisirte Licht circular, wenn sich eine Vorrichtung, die kreisförmig polarisirtes Licht erzeugt, zwischen dem Polarisator und der Platte und eine zweite zwischen dieser und dem Zerleger befindet.

Ich habe ein Fresnelsches Parallelepiped zur Polarisation und eines zur Analyse bei meinen Linsenuntersuchungen gebraucht. Da aber die mikroskopischen Beobachtungen keine genaue Messung voraussetzen, so reicht das $^1/_4$ Glimmerblättchen für sie immer aus.

§. 218. Schaltet man ein solches Blättchen bei der Untersuchung einer auf die optische Achse senkrechten einachsigen Platte ein, so sondern sich die Ringe bei rechtwinkelig gekreuzten (oder parallelen) Polarisationsebenen in vier Quadranten, deren Trennungskreuz den Richtungen der Polarisationsebenen entspricht und die paarweise einander gegenüberstehen, wie Fig. 48 zeigt. Verläuft z. B. die Achsenebene des Glimmerblättchens unter + 45° oder in der Richtung des Pfeiles, Fig. 48, so hat man im dunkelen Gesichtsfelde den Durchmesser des am meisten nach innen verschobenen Paares in der gleichen Richtung in positiven und in einer darauf rechtwinkeligen Richtung in negativen Körpern (Fig. 51). Die Orientation —45° oder die Anwendung eines ³/₄ Glimmerblättchens statt eines ¹/₄ Blättchens unter + 45° gibt das Umgekehrte, weil man dann links circular polarisirtes Licht statt rechts circular polarisirten benutzt. Man kann auch den Charakter zweiachsiger Körper[1] durch die Verschiebung der Ringquadranten erkennen. Die Untersuchung erfordert aber hier grosse Aufmerksamkeit, um leicht möglichen Irrungen zu entgehen.

Fig. 48.



§. 219. Die Verschiebung der Ringquadranten, die auch andere doppelt brechende Körper herbeiführen, wird von der Herstellung von Ergänzungsfarben begleitet, so dass das eine Quadrantenpaar nahezu die complementären Farben des anderen besitzt. Wählt man zur Beobachtung einfarbiges Licht, dessen Farbe der eines Quadrantenpaares möglichst nahe steht, so wird dieses hell und das andere sehr dunkel oder beinahe schwarz erscheinen. Eine doppelt brechende Platte, welche jene Färbung als ihre glatte Farbe gibt, kann auf diese Art die eines Quadrantenpaares auslöschen. Die dunkelen Quadrantenpaare liegen aber in positiven Körpern entgegengesetzt. wie in negativen.

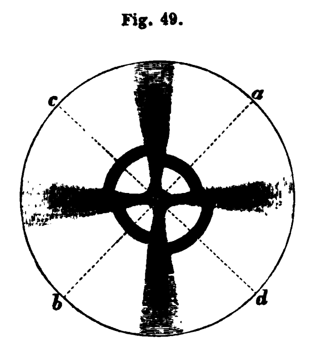
---

1. Dove, Farbenlehre S. 246. 247.

BREWSTER[1] wandte zuerst zu diesem Zwecke den Quarz und später, wie HERSCHEL[2], den Gyps an. Der erstgenannte Optiker empfiehlt Gypsblättchen von Roth zweiter Ordnung (§. 174). Ich finde solche von Roth dritter Ordnung für die Untersuchung von Linsenpräparaten, und für die von vielen Mineralplatten am vortheilhaftesten und gebrauche gewöhnlich eine Gypsplatte, die Bläulichgrün dritter Ordnung gibt (Werth = 1334 §. 174) zur Prüfung zweiachsiger Platten. Die inneren Ringhälften werden dann z. B. bei paralleler Stellung der Polarlinie und der Richtung der Achsenebene in dem positiven Topase und die äusseren in dem negativen Rohrzucker beinahe schwarz gefärbt.

§. 220. Dreht man das unter 0° eingestellte Glimmerblättchen allmählig nach ± 45°, so dass man das linear polarisirte Licht durch das elliptische in circular polarisirtes überführt (§. 216), so öffnen sich die schwarzen Kreuzesarme einer auf der optischen Achse senkrechten einachsigen Platte und verwandeln sich in zwei Hyperbeln, deren Scheitelpunkte ihren grössten Abstand bei ± 45° erreichen. Dreht man von 0° nach + 45°, so dass man rechts elliptisch oder circular polarisirtes Licht erzeugt, so liegt die nicht transversale, also die die Hyperbeln nicht durchschneidende Achse *ab* Fig. 49, die von französischen Geometern[3] und Optikern[4] sogenannte reelle Achse in positiven Körpern parallel und in negativen senkrecht auf der Richtung der Achsenebene des Glimmerblätt-

Fig. 49.

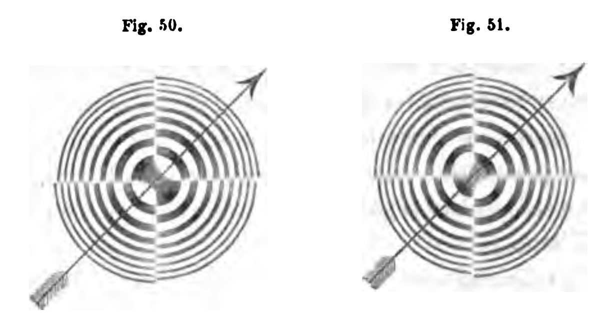


1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1818. p. 219. BILLET a. a. O. Tome I. p. 500.
2. HERSCHEL, Vom Licht. S. 520. 21.
3. Siehe z. B. BOURDON, *Application de l'Algèbre à la Géometrie. Seconde Édition.* Bruxelles 1828. 8. p. 282.
4. BILLET a. a. O. Tome II. p. 620.

chens. Die Drehung nach -45^0 gibt natürlich wiederum das Umgekehrte[1].

§. 221. Stellt man das $^1/_4$ Glimmerblättchen unter $\pm 45^0$ ein, so dass man in circular polarisirtem Lichte arbeitet, so verwandelt sich immer der innerste Abschnitt des schwarzen Kreuzes einer einachsigen auf der optischen Achse senkrecht stehenden Platte in zwei Schattenpunkte. Arbeitet man bei $+45^0$ oder in rechts circular polarisirtem Lichte, so ist die Verbindungslinie derselben auf der durch den Pfeil Fig. 50 angezeigten Richtung der Achsenebene

Fig. 50. Fig. 51.



senkrecht in positiven und geht ihr, wie Fig. 51 zeigt, parallel in negativen Körpern. Dieses von Dove[2] empfohlene Erkennungsmittel bewährt sich als sehr praktisch nicht bloss in Mineralien, sondern auch in organischen Körpern. Eine Quarzplatte, die so dünn ist, dass sie auch das Kreuz innerhalb des ersten Ringes zeigt, gibt die ihrer positiven Beschaffenheit entsprechende Punktstellung Fig. 50.

§. 222. Dove[3] benutzt auch zwei Glimmerblättchen, um über die Zerstreuung der optischen Achsen zweiachsiger Körper (§. 43) urtheilen zu können. Betrachtet man eine senkrecht auf die Mittellinie geschnittene Platte zuerst in rothem und dann in blauem

1. Dove a. a. O. S. 245. 46.
2. Dove a. a. O. S. 244 und Pogg. Ann. Bd. XXV. 1835. S. 290. Wilde a. a. O. S. 411. Grailich a. a. O. S. 202.
3. Dove, Ebendaselbst S. 247.

Lichte, so wird die Polarlinie in dem ersteren Falle kürzer erscheinen, wenn die rothen und länger, wenn die blauen Achsen einen kleineren Achsenwinkel bilden. Da der Unterschied meist gering und das angewandte Licht der farbigen Gläser nicht ganz rein ist, so kann man sich hier leicht täuschen. Man steht oft auf sicherem Boden, wenn man ein blaues Glas nimmt, das noch viele rothe Strahlen durchlässt und so die Lagenbeziehung der rothen und der blauen Ringe unmittelbar vergleicht[1]. DOVE schaltet ein $\frac{1}{4}$ Glimmerblättchen unterhalb und eines oberhalb der Prüfungsplatte ein, analysirt also circular in circularem Lichte (§. 216) und orientirt die Polarlinie unter 0^0 oder 90^0. Das schwarze Kreuz, das sonst zum Vorschein kommt, fehlt hier. Ist der Achsenwinkel der rothen Strahlen kleiner als der der blauen, so sind die blauen (oder grünen) und im entgegengesetzten Falle die gelben (oder rothen) inneren Begrenzungsstreifen einander zugewandt. Die circulare Analyse des circular polarisirten Lichtes beseitigt auch das Kreuz und macht die Ringe oval in einer senkrecht auf die Achse geschnittenen einachsigen Platte.

Ein $\frac{1}{4}$ Glimmerblättchen verräth noch die Circularpolarisation (§. 86) einer auf der optischen Achse senkrecht geschliffenen Platte und die Richtung, in der sie die Polarisationsebene dreht. Hat man eine Quarzplatte, die das Kreuz innerhalb des ersten Ringes ihrer Dicke wegen nicht zeigt, so ist sie rechtsdrehend, wenn die Ringe nach der Einschaltung eines $\frac{1}{4}$ Glimmerblättchens unter $+45^0$ oder bei dem Gebrauche circular polarisirten Lichtes die Fig. 52 gezeichneten Spiralen darbieten und die keulenförmigen Anschwellungen in der Richtung von 0^0 nach 180^0 liegen. Befinden sich diese in der Richtung 90^0 und 270^0 (Fig. 53), so dreht die Platte nach links. Nun brauchen wir einen Doppelquarz (§. 85) für die Untersuchung circular polarisirender Flüssigkeiten.


Fig. 52.



Fig. 53.



1. NÖRRENBERG und NEUMANN, Pogg. Ann. Bd. XXV. 1835. S. 382.

Wir können also auf diese Art bestimmen, welches die rechts und welches die links drehende Platte ist. Ein anderes Verfahren wurde schon §. 85 angeführt und ebenso §. 200 die Methode angegeben, nach der man bestimmen kann, ob jede der beiden Quarzplatten genau senkrecht auf die optische Achse geschnitten ist. Das circular polarisirte Licht verschiebt übrigens auch die steifen Kreuzarme (§. 186) der Achse parallel geschnittener Platten in entgegengesetzter Weise, je nachdem der Quarz rechts oder links dreht[1].

§. 223. Die glatte Farbe (§. 196) einer senkrecht auf die optische Achse geschnittenen Quarzplatte ändert sich mit der Drehung des Zerlegers, weil jede Farbe einen eigenen Drehungswinkel besitzt (§. 90). Lässt man den Zerleger unverrückt und schaltet dafür eine drehende Flüssigkeit ein, so wird natürlich die Farbe der Quarzplatte ebenfalls wechseln. Fällt die Drehungsrichtung der Flüssigkeit in demselben Sinne, wie die der Quarzplatte aus, so steigt die Farbe, wenn wir den Fortgang von Roth nach Violett unter diesem Ausdrucke verstehen. Sie muss herunterkommen, wenn beide Drehungsrichtungen entgegengesetzt sind. Legen wir nun eine rechts und eine links drehende Platte neben einander, so erzeugt eine eingeschaltete drehende Flüssigkeit ein Wachsthum der Farbe in der einen und ein Herabgehen in der anderen. Ein Doppelquarz (§. 85) bietet diesen Fall dar. Der Unterschied fällt leichter auf, wenn beide Platten die gleiche Farbe vor der Einschaltung besessen haben. Man nimmt aber hier, wie bei den Gypsblättchen, die Farbenveränderungen, die das lichtstarke Gelb erfährt, am schwersten und die, welche das Blauviolett erleidet, am leichtesten wahr. Biot nannte daher die letztere Färbung die empfindliche oder die Uebergangsfarbe. Ist jede der beiden Platten eines Doppelquarzes 7,5 oder 3,75 Mm. dick, so erscheinen sie beide bei einer Stellung des Zerlegers grünlichgelb und bei einer anderen blauviolett im Tone der Uebergangsfarbe. Man benutzt sie auf diese Weise, um die schwachen Kräfte drehender Flüssigkeiten aufzufinden. Diejenige Quarzplatte, deren Drehung

1. Billet a. a. O. Tome II. p. 40 und p. 602.

die gleiche Richtung mit der der Flüssigkeit hat, wird roth und die andere blau. Der azimuthale Drehungswinkel, um den der Zerleger gedreht werden muss, damit das frühere Blauviolett in beiden Platten zurückkehre, misst die Grösse der Drehung[1]. Schaltete BIOT[2] eine nicht hohe Säule einer Zuckerlösung ein, so fand er, dass sein Doppelquarz von 3,75 Mm. die Drehung anzuzeigen anfing, wenn diese $0^0 147$ oder 0^0 9′ betrug.

§. 224. WILD gebraucht bei der neuesten Construction seines Photometers eine Einrichtung, die noch empfindlicher als der Doppelquarz mit der Uebergangsfarbe ist. Hat man eine oder zwei unter 45^0 geschnittene Quarzplatten, die allein die scheinbaren und verbunden die wahren geraden Linien geben (§. 182), so werden diese durch einen weissen Streifen unterbrochen, sowie man den Zerleger dreht. WILD nimmt nun zwei sehr dicke Quarzplatten, die erst die Linien bei dem Gebrauche eines Vergrösserungsglases erkennen lassen. Das Auseinanderbrechen derselben erfolgt bei der geringsten Wendung der Polarisationsebene, und Winkelbestimmungen, die man nach diesem Verfahren macht, liefern nach WILD geringere wechselseitige Abweichungen, als die, welche auf der Anwendung des Doppelquarzes und der Uebergangsfarbe fussen. Es versteht sich von selbst, dass jene Verbindung auch auf Apparate zur Zuckerbestimmung oder Saccharimeter und ähnliche Instrumente angewendet werden könnte.

§. 225. Ein Polariskop ist eine Vorrichtung, welche schwache Spuren polarisirten Lichtes verräth. Die Polarisationsfiguren vieler auf die optische Achse senkrecht geschnittener Platten können zu diesem Zwecke benutzt werden. Hält man eine solche oder ein getrocknetes Präparat der Krystalllinse, das Ringe im Polarisationsapparate zeigt, gegen den Himmel und analysirt mit einem Nicol, so erscheinen jene Figuren wegen des polarisirten

1. Ueber den aus einer links drehenden Quarzplatte und zwei rechts drehenden Quarzkeilen bestehenden SOLEILschen Compensator siehe z. B. BILLET a. a. O. Tome II. p. 287. 88. MOUSSON a. a. O. S. 383.

2. BILLET a. a. O. Tome II. p. 281.

Zustandes des von dem Himmelsgewölbe zurückgeworfenen Lichtes. Man kann auf diese Art die Polarisationsebene des letzteren (§. 152) und die neutralen Stellen bestimmen. Das Polariskop von SAVART[1], welches aus zwei in gekreuzter Verdoppelung (§. 206) zusammengestellten Quarzplatten und einer mit ihrer optischen Achse unter 45° zu ihnen geneigten Turmalinplatte besteht, fusst auf ähnlichen Grundlagen, als für diesen Versuch vorausgesetzt werden. Diese verhältnissmässig gröberen Prüfungsmittel reichen aber nicht aus, wenn es sich um Spuren polarisirten Lichtes oder der dasselbe erzeugenden Doppelbrechung handelt.

§. 226. Man bedient sich in solchen Fällen der Einschaltung von verzögernden Blättchen (§. 196). Ihre Farbe ändert sich natürlich da, wo ein doppelt brechender, also ein Gangunterschiede liefernder Körper liegt. Der Gyps dient am vortheilhaftesten, weil er die lebhaftesten und entschiedensten Farben gibt. Gelb ist hier wieder unempfindlicher als Blauviolett (§. 223) und besonders als Roth erster oder zweiter Ordnung (§. 198). BRAVAIS[2] suchte ein noch empfindlicheres Polariskop durch eine gekreuzte Doppelplatte herzustellen. Man nimmt eine Platte von Quarz, Gyps oder Glimmer, welche die Uebergangsfarbe bei senkrechten Polarisationsebenen gibt, schneidet sie in zwei Hälften auseinander und fügt sie so zusammen, dass die optische Achse der einen auf der der anderen senkrecht steht[3]. Legt man nun die schwach doppelt brechende Platte auf die Grenze beider, so sinkt natürlich die Farbe in der einen Hälfte und steigt in der anderen. Geringere Farbenänderungen werden auf diese Weise in Folge des Contrastes leichter wahrgenommen. Das Polariskop von SÉNARMONT[4] besteht aus zwei rechts und zwei links drehenden Quarzprismen, die entgegengesetzt

1. Eine Abänderung desselben durch DELEZENNE s. BILLET a. a. O. Tome I. p 507.

2. BRAVAIS, Pogg. Ann. Bd. XCVI. 1855. S. 397.

3. Man schneidet z. B. ein Glimmerblättchen unter 45° zu der Richtung der Achsenebene, in der die optischen Achsen liegen, aus einander, kehrt die eine Hälfte um und bringt die Stücke in der Schnittlinie zusammen. Ich finde hier Rothviolett (Werth 575) weit empfindlicher als Blau.

4. SÉNARMONT, Pogg. Ann. Bd. LXXX. 1850. S. 293—95. Vgl. auch BILLET a. a. O. Tome I. p. 343.

combinirt und so zusammengefügt sind, dass die Ein- und die Austrittsfläche des Ganzen auf der optischen Achse senkrecht stehen. Weicht die Ebene der ursprünglichen Polarisation eines durchgeleiteten Strahles von der des Polariskopes im mindesten ab, so wird eine mittlere schwarze Franse in ihrem geradlinigten Verlaufe sogleich unterbrochen. (Vgl. Fig. 47 S. 149.)

§. 227. Die Einschaltung eines Gypsblättchens gewährt noch einen anderen wesentlichen Vortheil für die mikroskopische Untersuchung organischer Gewebe. Sie macht natürlich das dunkele Gesichtsfeld wiederum hell und färbt es in der Farbe ihres Grundes. Dieser wird überall, wo eine einfache Brechung stattfindet, wiedergegeben, mag sie durch die Natur der Masse oder durch die Durchgangsrichtung des Strahles bedingt sein. Das Uebrige erscheint in anderen Farben. Sie und die Färbung des Grundes fallen aber im Allgemeinen um so lebhafter aus, je höher die Ordnung ist, welcher die Farbe angehört. Ich finde daher auch, dass ein rothes Gypsblättchen erster Ordnung die besten Dienste für die Untersuchung der Pflanzen- und der Thiergewebe leistet. Es ist immer gemeint, wenn kein anderes ausdrücklich bezeichnet wird. Man kann aber das mit schwach doppelt brechenden Körpern versehene Gesichtsfeld auf dem hellen gefärbten und andersfarbige Gegenstände darbietenden Grunde besser durchsuchen, als wenn es schwarz ist und schwach glänzende Objecte führt.

§. 228. Der concentrisch geschichtete Bau, den wir in vielen organischen Gebilden, wie dem Stärkmehl, den verdickten und den verholzten Pflanzenzellen, den krystallinischen Kugeln, den Amyloidkörpern, der Krystalllinse, den Knochen und einzelnen Horngeweben antreffen, führt zu einer Reihe von Eigenthümlichkeiten, die, soviel ich weiss, noch nicht berücksichtigt wurden, obgleich etwas Aehnliches hin und wieder in krystallinischen Mineralmassen vorkommt. Wir nehmen zuerst den einfachsten Fall, nämlich den eines mit concentrischen Mänteln versehenen Kreiscylinders eines einachsigen Körpers, dessen Durchschnitt

man in vielen Zellenpräparaten der Gewächse und in Knochenschliffen näherungsweise antrifft und wollen erst später zu den kugeligen schaligen Gebilden übergeben.

§. 229. Ist *adbc* Fig. 54 der Querschnitt des Cylinders und *o* der Achsendurchschnitt, so wird die optische Achse rechtwinkelig zur Ebene der Figur oder zu der des Papiers durch *o* gehen, wenn sie senkrecht (§. 164) verläuft. Man hat daher einen Hauptschnitt *ab* im Azimuth 0° und einen zweiten *cd* im Azimuth 90°, endlich zwei *ef* und *gh* in ± 45°. Das dunkele Kreuz mit den hellen Zwischenquadranten zeigt sich desshalb, wie in einer einachsigen, senkrecht auf die Achse geschliffenen Platte (§. 184). Wir wollen es das Kreuz erster Ordnung nennen.

Fig. 54.



Verläuft die optische Achse tangentiell, wie z. B. *hi*, so liegen bei *a* und *b* Tangenten, die genau, und in der unmittelbaren Nähe solche, die annähernd der Richtung 90° entsprechen. Das Gleiche findet sich bei *d* und *c* für 0° und bei *e*, *f*, *g* und *h* für ∓ 45°. Wir erhalten also auch hier ein dunkeles Kreuz mit hellen Quadranten. Wir bezeichnen es als Kreuz zweiter Ordnung.

Geht endlich die optische Achse radial in *ao*, *eo*, *do* u. s. f. dahin, so wiederholt sich das Gleiche, da *aob* in 0°, *doc* in 90° und *eof* und *goh* in ± 45° stehen. Wir haben hier ein Kreuz dritter Ordnung.

Während also in den gewöhnlichen Krystallplatten ein mit gleich grossen und aussen verbreiterten Armen versehenes Kreuz und kreisförmige Ringe für den senkrechten Verlauf der optischen Achse zeugen, ist dieses bei concentrisch geschichteten Massen nicht der Fall. Das Kreuz kann hier bei jeder der drei Hauptrichtungen der optischen Achse vorkommen. Wir werden im fünften Abschnitte sehen, dass es Präparate aus dem Pflanzenreiche gibt, in denen Kreuze erster und solche dritter Ord-

nung neben einander in einem und demselben Querschnitte auftreten (§. 330).

§. 230. Betrachten wir nun, wie sich die Verhältnisse nach der Einschaltung eines Gypsblättchens von Roth erster Ordnung unter + 45° gestalten werden. Gesetzt die Farbe sänke bei *e* und *f* zu Gelb und stiege bei *g* und *h* zu Blau, so wäre der Körper negativ, wenn die optische Achse senkrecht oder wenn sie radial und positiv, wenn sie tangentiell dahinginge. Der nächste Entscheid liegt in der Vergleichung der Seitenansicht des Cylinders *abcd* Fig. 56. Geht die Achse senkrecht, so verläuft sie in der Richtung *ef*, die der Achsenebene des Gypsblättchens parallel sein möge. Sie soll also nach unserer ursprünglichen Voraussetzung zu Gelb sinken. Steigt sie aber hier zu Blau, so ist dieses ein Beweis, dass die optische Achse nicht senkrecht verläuft. Wir erhalten daher als **erste Regel**, dass die optische Achse nicht senkrecht dahingehen kann, wenn die Farbe in der Richtung der Achsenebene des Gypses im Querschnitte sinkt und im Längsschnitte steigt oder umgekehrt. **Jene senkrechte Richtung der optischen Achse setzt eine Uebereinstimmung des Ganges der Farbenänderung in dem Quer- und dem Längsschnitte voraus.**

Fig. 55.



Fig. 56.



§. 231. Die übrig bleibende Frage, ob die optische Achse tangentiell und daher der Körper positiv oder jene radial und dieser negativ sei, lässt sich unmittelbar nicht entscheiden. Da die tangentielle und die radiale Richtung in der Fläche auf einander senkrecht sind, so wird die Farbe in der tangentiellen Richtung steigen, wenn sie in der radialen sinkt und umgekehrt. Gerade der

gleiche Unterschied kehrt aber für positiv oder negativ wieder. Man kann sich übrigens auch das Gleiche an der Figur anschaulich machen. Nehmen wir zuerst tangentiell und positiv an. Die optische Achse steht dann bei *h* Fig. 56 senkrecht. Folglich steigt hier die Farbe zu Blau. Sie geht in dem Punkte der Oberfläche, der auf *g* senkrecht ist, wagerecht zur Achsenebene des Gypses. Daher sinkt hier die Farbe zu Gelb. Zwischen diesem Punkte und *h* nehmen aber die optischen Achsen alle Zwischenlagen an. Die Mittelfarben werden nur selten von unserem Auge sicher unterschieden. Wäre dieses aber der Fall, so müssten wir nach *h* zu mehr Blau und nach *g* zu mehr Gelb sehen. Hat man radial und negativ, so steht die optische Achse in *h* senkrecht auf der Richtung *ef* der Achsenebene des Gypses in der Fläche des Papiers. Folglich Steigen zu Blau. Sie ist in dem *g* entsprechenden Punkte der Oberfläche senkrecht auf *ef* und auf der Ebene des Papiers. Man hat also wieder Gelb nach *g* und Blau nach *h*. Wir werden im fünften Abschnitte sehen, dass es Pflanzen- und Thiergewebe gibt, die dieser Auffassungsweise vollkommen entsprechen.

§. 232. Eignet sich das Gewebe, dünne Schnitte in bestimmten Richtungen anzufertigen, wie dieses z. B. bei dem Pflanzenzellgewebe der Fall ist, und lässt sich die einachsige Beschaffenheit desselben voraussetzen, so kann man das Dilemma, ob die Hauptrichtung tangentiell oder radial dahingeht, bald entscheiden. Denken wir uns, wir hätten einen auf der Achse der Zelle senkrechten Querschnitt einer Wand in *abcd* Fig. 57. Ist sie ihrer ganzen Länge nach dunkel bei der Orientirung in 0° oder 90° und ihrer ganzen Länge nach hell bei ± 45°, so folgt, dass die optische Achse nicht senkrecht in Bezug auf das Präparat oder parallel der Achse der Zelle hingehen kann. Machen wir nun einen dieser Achse parallelen Schnitt und wiederholt sich für ihn völlig das Gleiche, so kann die optische Achse auch nicht tangentiell, überhaupt nicht in der Fläche des eben ausgebreiteten Mantels verlaufen. Es bleibt


Fig. 57.



daher nur die radiale Hauptrichtung als dritte übrig, wobei freilich unentschieden gelassen wird, ob die optische Achse genau senkrecht auf der Fläche oder mässig schief dahingeht, weil die hierdurch bedingten, von der Theorie geforderten Unterschiede für die meisten mikroskopischen Gegenstände zu klein sind, als dass sie unser Auge mit Sicherheit zu erkennen im Stande wäre. Steigt dann die Farbe in der Richtung der Achsenebene des Gypsblättchens, so ist der Körper wahrhaft positiv und sinkt sie, so ist er wahrhaft negativ.

§. 233. Denken wir uns den organischen Theil nicht cylindrisch, sondern kugelförmig, so fallen hier schon die senkrechte und die radiale Richtung von selbst zusammen. Steigt die Farbe nach der Einschaltung eines Gypsblättchens parallel der Achsenebene desselben, so ist der Körper positiv, wenn die optische Achse radial und negativ, wenn sie tangentiell dahingeht. Die lineare Analyse des circular polarisirten Lichtes oder die circulare des linear polarisirten lässt dieselben beiden Möglichkeiten offen. Nehmen wir ein Stärkmehlkorn der Kartoffel als Beispiel. Während es das Kreuz *abcd* Fig. 58 bei linearer Analyse des linear polarisirten Lichtes zeigt, liefert es die sich verbreiternden dunkelen, aber matteren Büschel *ef*, deren Achse auf der durch den Pfeil bezeichneten Richtung der Achsenebene des $^1/_4$ Glimmerblättchens senkrecht steht, folglich zu *ac* und zu *bd* unter 45° geneigt ist, wenn man circular polarisirtes Licht linear oder linear polarisirtes circular analysirt. Ein heller Streifen *gh* verläuft rechtwinkelig zu der Achse der Büschel. Dieses zeugt aber für die positive Beschaffenheit, wenn die optische Achse radial (oder senkrecht) und für negativ, wenn sie tangentiell dahingeht[1]. Bleibt es auf diese Art un-

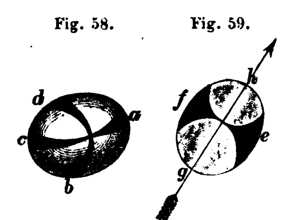


Fig. 58. Fig. 59.

1. Dieser Ausspruch folgt aus den bis auf die zur Bezeichnung der Gegenstände gewählten Buchstaben übereinstimmenden hierher gehörenden Formeln von Airy (Pogg. Ann. Bd. XXIII. 1831. S. 228. 229), Langberg (Pogg. Ann. Bd. LI. S. 561—63. Gleichung 54 und 56) und Wilde (Pogg. Ann. Bd. LXXXIX.

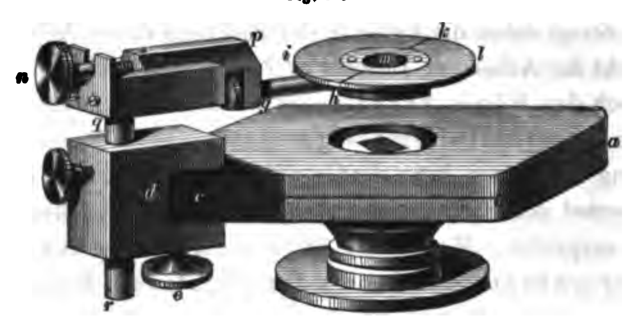
bestimmt, in welcher Richtung die optische Achse verläuft und welches der Charakter der Doppelbrechung ist, so spreche ich von verhältnissmässiger oder relativer positiver oder negativer Wirkung. Ich denke mir dann, dass sich die Sache so verhält, als wenn die optische Achse in der Richtung der Achsenebene des Gypsblättchens oder des $^1/_4$ Glimmerblättchens dahinginge. Steigt daher die Farbe in der Richtung dieser Achsenebene oder steht die Achse der Büschel *ef* Fig. 59 senkrecht auf ihr, so nenne ich den Körper verhältnissmässig oder relativ positiv. Er ist verhältnissmässig negativ, wenn die Farbe in der Richtung der Achsenebene des Gypsblättchens sinkt oder die Achse der Büschel der Richtung der Achsenebene des $^1/_4$ Glimmerblättchens entspricht. Man darf aber nicht diese Ausdrücke mit der wahren positiven oder negativen Beschaffenheit verwechseln.

§. 234. Die Untersuchung unter dem Mikroskope fordert häufig, dass man den Gegenstand in einem bestimmten Azimuthe einstellt. Man muss ihn daher, nachdem er centrirt worden, in seiner eigenen Ebene drehen können. Ein Tisch, wie ihn die Schraubenmikrometer liefern und wie man ihn auch bisweilen besonders für Polarisationsmikroskope angefertigt hat, erfüllt den Zweck. Dieses genügt aber nicht unseren Bedürfnissen, da auch eine Wendung um eine wagerechte und nicht bloss eine solche um eine senkrechte Drehungsachse nöthig wird, wenn man die Richtung der optischen Achse nach dem §. 202 angegebenen Verfahren auffinden will. Ich habe mir daher einen Objectträger mit doppelter Drehung anfertigen lassen.

S. 405 und 411. Gleichung 10), wenn man bedenkt, dass der Gangunterschied in positiven Körpern negativ, wenn er in negativen positiv ist, und dass man bei radialer, wie bei tangentieller optischer Achse geschichteter Kugeln immer auf einen neuen Hauptschnitt nach jeder unendlich kleinen Aenderung der Richtung stösst. Das Gleiche erhellt übrigens schon ohne alle mathematische Betrachtung, sobald man erwägt, dass zwei ausgezeichnete Ebenen in jeder beliebigen Richtung, wie in Platten, die senkrecht auf der optischen Achse geschnitten sind, zu Gebote stehen.

abc sei der Objecttisch des Mikroskopes, so wird der Objectträger an den linken hinteren Winkel *c* durch eine Zwinge *d* mittelst der Schraube *e* so befestigt, dass die wagerechte Drehungsachse oder die Richtung *gh* in dem Azimuthe + 45° dahingeht.

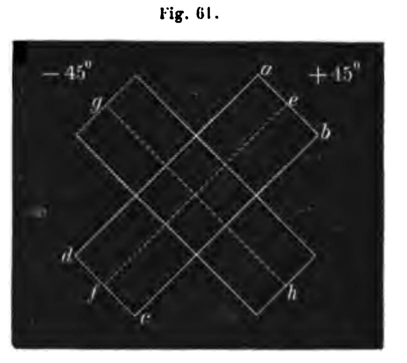

Fig. 60.



Die Scheibe *hikl* kann um 360° in der wagerechten Ebene oder um die (senkrechte) Achse des Mikroskopes gedreht werden. Sie liefert also alle gewünschten Azimuthalstellungen, sowie der Gegenstand genau centrirt worden. Damit dieses möglich sei, wird der Apparat so eingestellt, dass der Mittelpunkt der Kreisöffnung *m* mit dem Durchkreuzungspunkte zweier, das Gesichtsfeld in vier gleiche Theile sondernder Mikrometerfäden des Oculars zusammenfällt. Die Scheibe *hikl* hat zu diesem Zwecke vier gerade Linien, die sich im Mittelpunkte *m* der Oeffnung bei ihrer Verlängerung durchkreuzen würden. Man legt ein Glas, in dem zwei gerade sich rechtwinkelig schneidende Linien eingekritzt sind, so auf, dass diese die Verlängerung der Linien *hk* und *il* bilden und richtet ihren Durchschnittspunkt in Bezug auf den der Mikrometerfäden zuerst mit freier Hand und dann mit der Correctionsschraube *n*. Der *gh* entsprechende Stift kann sich in *p* so drehen, dass die Scheibe *hikl* schief von oben nach unten zu stehen kommt, wie man es eben zur Bestimmung der optischen Achse braucht. Er bleibt dabei durch geringe Reibung in jeder beliebigen Lage stehen, damit man die Hände frei habe, um den Focus des Mikroskopes nachrücken zu können. Der Cylinder *qr* lässt sich in der Zwinge *d* auf und ab

schieben und mit einer Schraube feststellen, um die gebrauchte Entfernung von *hikl* und *abc* zu erhalten. Hat man keine Drehung um *gh* nöthig, so bringt man *gh* so nahe als möglich an *abc* oder lässt nur so viel Zwischenraum, dass man ein Gyps- oder ein Glimmerblättchen einzuschalten vermag. Man könnte das Glas, welches den mikroskopischen Gegenstand trägt, mit Klemmen befestigen. Ich ziehe es vor, das §. 140 erwähnte Klebwachs anzuwenden, um freier zu sein. In gewöhnlichen Fällen hat man auch dieses nicht nöthig.

Fig. 61.



Nehmen wir an, wir wollten die optische Achse des dünnen parallelepipedischen Körpers *abcd* Fig. 61, der von selbst oder nach der Einschaltung eines (positiven) Gypsblättchens unter +45° Farben gibt, aufsuchen, so orientiren wir ihn durch die Drehung von *hikl* Fig. 60 unter +45° und drehen die Scheibe selbst um *gh* Fig. 60. Steigt die Farbe, so ist der Körper positiv und fällt sie, so ist er negativ, wenn die optische Achse in der Richtung +45° oder parallel *ef* dahingeht. Ein Glimmerblättchen liefert natürlich die umgekehrten Beziehungen, weil es selbst negativ ist. Wollen wir unser Ergebniss durch einen zweiten Versuch bestätigen, so drehen wir die Platte *abcd* Fig. 61 aus +45° nach −45°. Die früher gefundene optische Achse *ef* kommt daher jetzt in *gh* Fig. 61 oder senkrecht auf *ef* zu stehen. Drehen wir jetzt wieder um *ef* Fig. 61, also um *gh* Fig. 60, so ist die Drehungsachse senkrecht auf der optischen Achse. Wir haben also jetzt ein Sinken der Farbe, wenn uns früher ein Steigen begegnete und umgekehrt.

§. 235. Man sieht natürlich lebhaftere Polarisationsbilder, wenn man alles nicht polarisirte Licht abhält. Ich gebrauche eine innen mit matt schwarzem Papier überzogene Deckröhre, *c* Fig. 62, deren Durchmesser so abgepasst ist, dass sie, an dem Mi-

kroskoprohre heraufgezogen, hier durch Reibung an einer Hervorragung desselben haften bleibt, heruntergelassen dagegen das Objectglas ganz umgibt. Die letztere Bedingung kann nicht vollständig erfüllt werden, wenn der Objectträger mit doppelter Drehung einen Zwischenraum zum Einschieben eines Blättchens übrig lässt. Die Störung durch gewöhnliches Seitenlicht ist aber auch dann unmerklich.

Fig. 62.

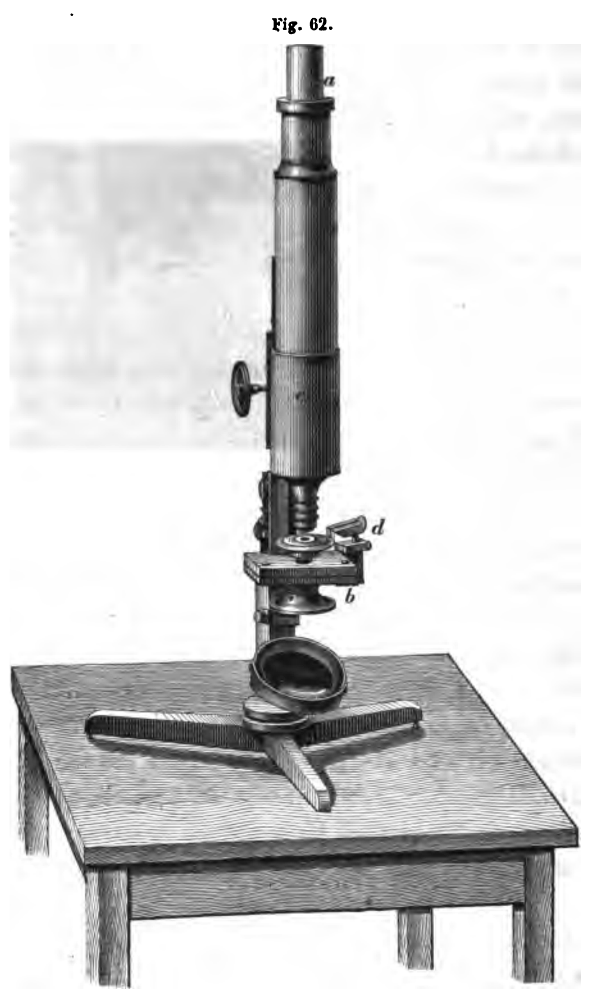


Fig. 62 zeigt uns das Polarisationsmikroskop mit dem analysirenden Nicol *a*. Das polarisirende *b* ist mit Klebwachs so befestigt,

dass der Fig. 28 *ab* S. 94 dargestellte Auflagsrand nach unten sieht. *c* bezeichnet die aufgezogene Deckröhre und *d* den angeschraubten Objectträger mit doppelter Drehung (Fig. 60).

§. 236. Die gewöhnliche Untersuchungsweise der mikroskopischen Präparate unter Wasser liefert nicht die schärfsten Polarisationsbilder. Man kann eher den Satz aufstellen, dass die besten, die Polarisationsfiguren begünstigenden Aufbewahrungsmittel die Gegenstände so durchsichtig und ihre Randbegrenzungen so zart machen, dass hierdurch die Untersuchung in gewöhnlichem Lichte wesentlich erschwert wird. Der Canadabalsam nimmt den ersten Rang und das Terpentinöl den zweiten für die Prüfung trockener Präparate ein. Das Glycerin passt am besten für feuchte Gegenstände. Will man ein mikroskopisches Präparat in Canadabalsam einschmelzen, so zieht man eine geringe Menge desselben auf einem hakenförmig gekrümmten Drathe empor, erwärmt sie über der Weingeistlampe, bis sie flüssig geworden, lässt einen Tropfen auf das Präparat herabfallen, erwärmt das Glas, auf dem sich dieses befindet, so weit es der Gegenstand verträgt und drückt ein dünnes Deckgläschen leise darüber. Zurückgebliebene Luftblasen gehen bei neuem raschem Erwärmen, vorzüglich aber, wenn man das Ganze einen oder mehrere Tage auf dem warmen Ofen liegen lässt, grösstentheils oder gänzlich davon. Es ist unglaublich, wie starke Trübungen der Linsenmasse sich durch die Einwirkung des Canadabalsams, oft aber erst im Laufe von Wochen, aufhellen. Die scheinbar ungünstigsten Präparate können auf diese Weise vollständig brauchbar gemacht werden. Sie und die durchsichtigen Linsen eignen sich auch in halbtrockenem Zustande zur Aufbewahrung in Canadabalsam. Damar- oder Mastixfirniss richtet bisweilen manche nicht ganz trocken eingelegte Gegenstände für immer zu Grunde.

Ein Körper zeigt im Allgemeinen um so schärfere Randbegrenzungen, je mehr sein Brechungscoëfficient von dem seiner Umgebung abweicht. Die breiten dunkelen Ränder, welche die Fetttropfen und die Luftblasen unter dem Mikroskope darbieten, haben hierin ihren entfernten Grund. Sie werden durch starke seitliche Ablenkung in den ersteren, durch sie und durch gänzliche Zurück-

werfung (§. 74) in den letzteren erzeugt [1]. Hätte dagegen eine Masse, die in einer Flüssigkeit schwimmt, genau den gleichen Brechungscoëfficienten wie diese, so würde man ihre Randbegrenzungen nicht erkennen. Betrachten wir einen doppelt brechenden Körper in gewöhnlichem Lichte oder in polarisirtem Lichte, aber ohne Zerleger, so kommt es zu keiner Interferenz, weil man dann zwei nahezu senkrecht auf einander polarisirte Strahlen hat, die sich zu elliptischem Lichte zusammensetzen (§. 16). Dieses Bild wird aber um so schwerer erkannt, je mehr sich der Brechungscoëfficient des Aufbewahrungsmittels dem des ordentlichen Strahles des Präparates nähert. Der Nachtheil für die gewöhnliche mikroskopische Untersuchung verwandelt sich in einen Vortheil für das Studium der Bilder in dem vollständigen Polarisationsapparate. Der Analysator zerlegt den ausserordentlichen und den ordentlichen Strahl in je einen Antheil in der Richtung seiner Schwingungsebene und einen anderen senkrecht darauf. Wir benutzen das lichtstärkere ausserordentliche Bild (§§. 169 und 173) und sehen dieses bei der unvermeidlichen Unvollkommenheit unserer Apparate um so deutlicher, je mehr das ordentliche durch den näherungsweise gleichen Brechungscoëfficienten der umgebenden Flüssigkeit unkenntlich gemacht [2], gleichsam abgeblendet ist.

Die gewöhnlichen Brechungscoëfficienten der meisten festen oder getrockneten pflanzlichen und thierischen Theile liegen zwischen 1,40 und 1,55. Das Wasser hat aber 1,3336 für D bei 18 bis 19° C., der Weingeist 1,3654 und eine Chlorcalciumlösung 1,4040. Die letztere, die zum Aufbewahren der Pflanzenpräparate benutzt wird, kann daher schon günstiger, als die ersteren wirken, was auch die Erfahrung bestätigt. Der Canadabalsam besitzt 1,528 bis 1,549, das Terpentinöl 1,470 bis 1,486 und das Glycerin 1,413. Ein zweiter wesentlicher Vorzug dieser Körper, den viele andere von gleichem Brechungsvermögen nicht darbieten, ist der,

---

1. Siehe z. B. über den Gang der Strahlen in solchen Fällen: A. FICK, Medicinische Physik. Braunschweig 1856. 8. S. 494—97 und P. HARTING, Das Mikroskop, übersetzt von THEILE. Braunschweig 1859. 8. S. 341. 42.

2. Vgl. schon BREWSTER, *Phil. Transact.* 1819. p. 147. 148.

dass sie die Massen durchsichtiger machen, weil sie vermöge der Adhäsion leicht in die Poren dringen, die hier befindlichen Körper austreiben und deren sehr abweichendes Ablenkungsverhältniss durch ihr mehr annäherndes ersetzen.

Vierter Abschnitt.

Eigenthümlichkeiten der Polarisationspräparate organischer Körper.

§. 237. Die frischen Gewebe der Pflanzen und der Thiere, die den hinreichenden Grad von Doppelbrechung besitzen, liefern meistentheils ebenso regelmässige Bilder, als viele Mineralplatten. Die Molecüle werden bei der Entwickelung so geordnet, dass die optischen Achsen derselben nach bestimmten Richtungen, z. B. der der Länge oder der Dicke, zusammenfallen [1]. Man kann sogar vermuthen, dass der Niederschlag fester Stoffe, der die Bildung der Thiergewebe begleitet, schon vorhandene Unregelmässigkeiten aufhebt. Wir sahen §. 88, dass eine Eiweisslösung links dreht und §. 92, dass die Circularpolarisation wahrscheinlich immer eine asymmetrische Moleculavertheilung voraussetzt. Diese wird aber in den Geweben, die aus einer Eiweisslösung entstanden sind, mangeln, wenn ihnen das Vermögen der Drehung der Polarisationsebene abgeht.

§. 238. Wie manche Krystalle einfach brechender Körper durch innere Spannungen oder durch Blätterpolarisation (§. 109)

---

1. Da BOECK (Müll. Arch. 1844. Bericht S. 1. 2) nur die neutralen Richtungen der organischen Fasern durch den Gebrauch zweier Turmalinplatten bestimmte, so ist die Angabe, dass nach diesem Forscher die Faserrichtung der optischen Achse entspreche, nicht sicher. Die hierauf begründeten Schlüsse (W. HIS, Beiträge zur normalen und pathologischen Histologie der Cornea. Basel 1856. 4. S. 29—32.) haben daher keine zuverlässige Grundlage.

doppelt brechend und die Polarisationsbilder ursprünglich doppelt brechender Körper aus dem gleichen Grunde verzerrt werden, so kann sich etwas Aehnliches in Folge der Wachsthumserscheinungen oder der künstlichen Behandlung der Präparate wiederholen. Wir haben §. 104 kennen gelernt, dass vorzugsweise das Eintrocknen Spannungen hervorzurufen pflegt.

§. 239. BREWSTER bemerkte schon in seinen ersten Polarisationsbeobachtungen, dass einzelne organische Körper, die keine Doppelbrechung in ganz frischem Zustande verrathen, sie durch Druck oder durch Verdunstung ihrer Feuchtigkeit erhalten können. Er beschrieb dieses von der aus Kalbsfüssen bereiteten Gallerte[1] und der Hausenblase und leitete die Erscheinung von ungleichen Spannungen her, die bei dem allmähligen Vertrocknen auftreten[2]. Man kann nach ihm die doppelt brechende Wirkung des Hornes und des Schildpattes durch Druck vergrössern[3] und ein doppelt brechendes Gefüge in einer gepressten Mischung von Wachs und Harz in polarisirtem Lichte nachweisen[4].

Die Studien, welche ich über die Krystalllinsen anstellte[5], führten mich zu dem Ergebnisse, dass hier die Kreuzfigur erst bei der Trübung oder dem Eintrocknen der Linse mit Nachdruck hervortritt. Nur dieses letztere und zwar erst, wenn der Wasserverlust sehr bedeutend ist, bedingt die isochromatischen Ringe. Man kann sich aber durch die Farbenveränderung eines Gypsplättchens überzeugen, dass die Linse schon als positiver Körper wirkt, ehe noch die Kreuzfigur auftritt. Das Eintrocknen verstärkt also nur die Doppelbrechung in bedeutendem Grade. Wenn W. MÜLLER[6] das Gleiche für das elastische Gewebe angibt, so ist der Unter-

---

1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1815. p. 41 und 63 und HERSCHEL, Optik. Uebers. von SCHMIDT. S 671.

2. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1816. p. 172. Dessen populäres Handbuch der Optik. Uebers. von HARTMANN. 1835. Bd. I. S. 134. Bd. II. S. 35.

3. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1816. p. 167.

4. BREWSTER, Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 527.

5. GRÄFES Arch. für Ophthalm. Bd. IV. 1858. S. 228. 29.

6. W. MÜLLER, in Henle und Pfeuffers Zeitschrift. Dritte Reihe. Bd. X. 1860. S. 175.

schied nach meinen Erfahrungen wesentlich geringer, als für die Linse. Die Fasern des frischen Nackenbandes des Pferdes leuchteten schon sehr hell im dunkelen Gesichtsfelde. Wir werden später sehen, dass der Wasserverlust keineswegs immer die Doppelbrechung der Gewebe verstärkt. Er vergrössert z. B. die des Bindegewebes und der Knorpel, verkleinert dagegen die mancher Nerven und einzelner embryonaler Gewebe.

Man findet Beispiele krystallisirter Körper, deren doppelt brechende Eigenschaften sich mit dem Wassergehalte ändern. Diese Erscheinung erklärt sich durch den Wechsel der Krystallform. Der gewöhnliche schwefelsauere Kalk hat eine schwache, der wasserlose dagegen eine starke Doppelbrechung[1]. Der Gyps krystallisirt aber zwei- und eingliedrig, der Anhydrit dagegen zwei- und zweigliedrig. Das schwefelsauere Chinin, das 13 Atome Wasser enthält und negativ einachsig ist, bildet Quadratoktaëder. Das, welches 12 Atome Wasser und zwei optische Achsen hat, besitzt prismatische Formen[2].

§. 240. Es kommt in thierischen Theilen vor, dass ein Körper bei grösserem Wassergehalte einachsig und bei geringerem zweiachsig erscheint. Dieser Wechsel kann sich schon bei dem Eintrocknen der Gallerte zeigen. Man begegnet ihm nicht selten in den Krystalllinsen und fast immer in der Hornhaut des Auges. Untersucht man diese in frischem Zustande, so erhält man ein dunkeles Kreuz, das durch die Drehung des Präparates in seiner Ebene nicht geändert wird. Es löst sich dagegen in zwei auseinander weichende Hyperbeln in der getrockneten Hornhaut auf (§. 61). Dieses zweite Bild fehlt häufig, weil die trockene Hornhaut zu dünn ist. Man schichtet dann bisweilen mit Erfolg eine Reihe von Hornhäuten nach Art eines Plattensatzes (§. 33) über einander.

---

1. J. B. Biot, Lehrbuch der Experimentalphysik. Uebers. von Fechner. Zweite Auflage. Bd. IV. Leipzig 1829. 8. S. 351.

2. Des Cloizeaux, *Ann. des Mines. Cinquième Série.* Tome XI. 1857. p. 340—42.

§. 241. Der Wechsel des Wassergehaltes kann den Charakter der Doppelbrechung ändern. Ich habe schon an einem anderen Orte[1] bemerkt, dass in der Regel die ganz frische und die halbtrockene Linse verhältnissmässig positiv und die vollständig lufttrockene verhältnissmässig negativ (§. 233) wirkt. Nun ist eine Masse positiv, wenn der Brechungscoëfficient des ausserordentlichen Strahles den des ordentlichen übertrifft und negativ, wenn das Umgekehrte stattfindet. Geht sie stetig aus einem dieser Charaktere in den anderen über, so muss es natürlich einen Durchgangspunkt geben, in dem beide Ablenkungsverhältnisse gleich werden, also nur eine einfache Brechung auftritt. Da die Brechungscoëfficienten mit den Farben wechseln, so kann dieser Zustand streng genommen nur für eine Farbe zu einer gegebenen Zeit und an einem bestimmten Punkte vorhanden sein. Denkt man sich, dass dieses für Gelb stattfindet, so muss die Masse für Roth und Violett entgegengesetzte Charaktere darbieten, wie dieses auch Sénarmont[2] durch Mischungen des positiven unterschwefelsaueren Bleioxydes und des negativen unterschwefelsaueren Strontians zu erreichen suchte. Die Linse wird in diesem Falle schon negativ für Roth erscheinen, wenn sie noch positiv für Violett ist. Man findet in der That einzelne in weissem Lichte schwächer doppelt brechende Stellen neben stärker doppelt brechenden zur Uebergangszeit. Die Veränderung geht auch, wie sich schon theoretisch erwarten lässt, schichtweise vor sich. Brewster[3] beobachtete an der in Canadabalsam aufbewahrten Linse des Kabeljaus, dass der Kern und die äussersten Schichten verhältnissmässig positiv und die mittleren verhältnissmässig negativ waren. Wir werden in dem folgenden Abschnitte sehen, dass das Gleiche in den Linsen des Rindes vorkommen und einen eigenthümlichen Interferenzring erzeugen kann. Ich habe ausserdem zwei entgegengesetzte Charaktere in anderen Säugethieren mehrfach wahrgenommen. Der Charakter war hier aussen und innen, jedoch in umgekehrter Weise entgegengesetzt, als in einer gekühlten ursprünglich

1. Gräfe's Arch. f. Ophthalm. Bd. VII. 1861. S. 88—93.
2. Sénarmont, *Ann. de Chim. Trois. Série.* Tome XXIII. 1851. p. 428. 29.
3. Brewster, *Phil. Transact.* 1816. p. 312—11.

kreisförmigen Glasscheibe, die man durch Abfeilen zweier gegenüberstehender Durchmesserbezirke schwach elliptisch gemacht hat[1].

§. 242. Da eine Hohlkugel positiv wirkt, wenn sie innen unter einem grösseren Drucke steht, als aussen, und negativ, wenn das Umgekehrte stattfindet (§. 193), so könnte man sich die Charakterveränderung der Linsen daraus zu erklären suchen, dass die zuerst eingetrockneten äusseren Schichten einen Druck auf die inneren ausübten und dieses Verhältniss auch in den lufttrockenen fortdauert, weil die äusseren Lagen mehr Wasser verloren hätten. So einleuchtend diese Auffassung erscheint, so wenig bestätigt sie sich bei genauerer Prüfung. Dieses erhellt aus Beobachtungen, die ich an den sechs Krystalllinsen dreier vor ungefähr 8 Tagen getödteter Pferde machte und die ich daher für keine blossen Folgen zufälliger Abweichungen halten kann. Die unmittelbar vorher aus den Augen genommenen Linsen waren ausnahmsweise negativ, blieben es eine Zeit lang bei dem Eintrocknen an der Luft an den äusseren, wie den inneren Schichten und wurden später schichtweise positiv bei der Aufbewahrung in Canadabalsam.

§. 243. Der veränderte Molecularzustand, den der Weingeist erzeugt und den wir als Gerinnung des Eiweisses aufzufassen pflegen, begünstigt das Auftreten von isochromatischen Ringen in Linsenpräparaten. Die Studien in polarisirtem Lichte beweisen aber, dass man hier merklich verschiedene Veränderungen unter dem einen Namen der Gerinnung zusammenfasst. Die weiss gewordenen Lagen sind natürlich ihrer Undurchsichtigkeit wegen unbrauchbar. Der von ihnen umschlossene gelbliche oder braune Kern dagegen liefert die vollständigsten Polarisationsfiguren. Man findet schon in vergleichenden Beobachtungen der verschiedensten Wirbelthiere, dass hier diejenigen Linsen, welche viele Jahre in Weingeist gelegen haben, die günstigsten Verhältnisse darbieten. Ein Beispiel aber, das mir an den Cephalopoden vorgekommen ist, kann das Gesagte am vollständigsten erläutern.

1. Brewster bei Brandes in Gehler's physikal. Wörterbuche Bd. VII. Abth. II. Leipzig 1834. 8. S. 820.

Diese Thiere besitzen eine Linse, die aus zwei ungleichen Hälften, einem vorderen und einem hinteren Stücke, zusammengesetzt ist. Die grössere hintere Abtheilung bietet die Eigenthümlichkeit dar, dass die Schichten nicht um einen centralen Kern symmetrisch herumgehen, sondern Halbmonde bilden, weil die Gegenstücke in der vorderen Abtheilung der Linse liegen, die neutrale Stelle also der Trennungsfläche beider angehört. Diese Eigenthümlichkeit hat zur Folge, dass ein aus der hinteren Linsenhälfte angefertigter Würfel, durch dessen zwei gegenüberstehende Seitenflächen das polarisirte Licht geführt wird, nicht das Kreuz und die Ringe, wie eine senkrecht (§. 184), sondern Hyperbeln, wie eine parallel zur optischen Achse geschliffene einachsige Platte gibt. Fig. 63 stellt dieses aus einem Linsenwürfel von Loligo schwach vergrössert dar. Beide stimmen auch darin überein, dass die hyperbolischen Linien am deutlichsten erscheinen, wenn die gemeinschaftlichen Asymptoten derselben einer der beiden Polarisationsebenen parallel stehen und am undeutlichsten, wenn sie unter ± 45° orientirt sind (§. 186). Die Wirkung ist also dieselbe, als wenn die optische Achse in der Richtung von vorn nach hinten verliefe[1]. Die Durchsicht durch die vordere und die hintere Fläche des nur aus der hinteren Linsenhälfte bestehenden Würfels liefert Hyperbeln mit schmalen nach aussen spitzer werdenden Kreuzen, wie es Fig. 64 aus demselben Würfel, als Fig. 63

Fig. 63.

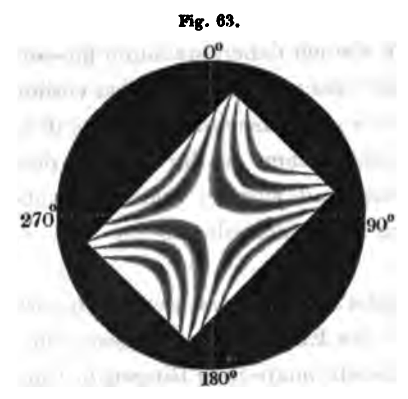
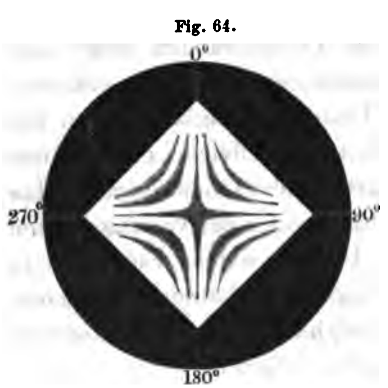


Fig. 64.



1. GRÄFE's Arch. f. Ophthalmologie. Bd. IV. 1858. S. 239.

zeigt oder eine meist allotropische Kreuzfigur (§. 253). Hat man dagegen einen Würfel aus beiden Linsenhälften, die sich wechselseitig ergänzen, so erhält man immer ein Kreuz.

Da ich diese eigenthümliche Erscheinung genauer verfolgen wollte, so liess ich mir eine grössere Zahl von Cephalopodenlinsen in Spezzia sammeln und in Weingeist baldmöglichst zusenden. Trocknete ich eine Parthie derselben, die etwa nur einen Monat in Weingeist gelegen hatte, und verarbeitete sie zu Würfelpräparaten, so zeigte sich keine deutliche Polarisationsfigur, geschweige denn Hyperbeln, wenn selbst die Stücke Wochen lang in Terpentinöl gelegen hatten und durchsichtiger geworden waren. Das Innere der Würfel hatte dabei die bernsteingelbe Farbe, wie sie sonst in günstigeren Präparaten auftritt. Wiederholte ich den gleichen Versuch ein Jahr später, so lieferten einzelne Stellen mancher Würfel farbige nicht regelmässige Bilder, deren Lichtstärke bei dem Drehen des Präparates in seiner Ebene zwischen einem Grössten und einem Kleinsten wechselte. Sie erschienen aber meistentheils erst, nachdem die Präparate Monate lang in Terpentinöl gelegen hatten. Andere Linsen, die 2½ Jahre in Weingeist aufbewahrt worden, gaben schon auffallend lebhaftere und vollständigere Figuren. Einzelne von ihnen zeigten bei der Durchsicht durch zwei Seitenflächen, wenn die von vorn nach hinten gehende Längsachse der Linse einer der beiden rechtwinkelig gekreuzten Polarisationsebenen parallel stand, ein dunkeles Kreuz oder unregelmässige schwarze Linien mit runden lebhaften Pfauenaugen in den beiden vorderen Feldern, wie man sie auch in den Ecken gekühlter Glaswürfel bemerkt[1]. Das Kreuz löste sich in schmale nicht hyperbolische Linien bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene auf, während nur die Form, nicht aber die Lichtstärke der Pfauenaugen unverändert blieb. Andere Linsen führten drei Pfauenaugen in der grösseren hinteren Hälfte (*b* Fig. 65) und eines oder zwei in

Fig. 65.

a

b

1. Biot, Experimentalphysik. Uebers. von Fechner. Bd. V. Taf. XIX. Fig. 23. Radicke, Handbuch Bd. I. Taf. III. Fig. 103.

der vorderen (a), aber weder Kreuze noch Hyperbeln bei irgend einer Stellung. Man hatte also ganz verschiedene Gerinnungszustände, je nachdem der Weingeist 4 Wochen, 1 Jahr oder 2½ Jahre gewirkt hatte.

§. 244. Die Molecularverhältnisse solcher Präparate scheinen auch an der Luft wechseln zu können, selbst wenn man das Linsenstück mit einer dünnen Schicht eines durchsichtigen Firnisses früher überzogen hatte. Es kam wenigstens vor, dass ein Loligowürfel Hyperbeln statt des ursprünglichen Kreuzes nach 1 bis 2 Jahren zeigte und einen Wechsel der inneren Spannungen auf diese Art verrieth.

§. 245. Man pflegt anzugeben[1], dass man die gepressten oder die gekühlten Gläser, also die durch innere Spannungen in doppelt brechende Massen verwandelten einfach brechenden Körper (§. 104) in die Entfernung des deutlichen Sehens bringen müsse, um ihre Polarisationsbilder mit genügender Schärfe wahrzunehmen, die Krystallplatten dagegen die isochromatischen Ringe nur bei möglichster Annäherung an den Zerleger und das Auge zeigen. Die zu 24 Centimeter angenommene mittlere Sehweite ist so sehr von der Pupille entfernt, dass diese nur solche Strahlen durchlässt, die unter kleinem Winkel von einem in diesem Abstande befindlichen Punkte ausgehen und die man daher als parallel ohne merklichen Fehler betrachten kann. Man sagt desshalb häufig, dass paralleles Licht für die Untersuchung gepresster oder gekühlter Gläser und convergentes (§. 132) für die von Krystallplatten nöthig ist.

§. 246. Griffe der Unterschied allgemein durch, so würde er eine uns interessirende Eigenthümlichkeit nach sich ziehen. Betrachten wir einen mikroskopischen Gegenstand mit einer Loupe oder dem Oculare eines zusammengesetzten Mikroskopes, so sehen wir das vergrösserte Bild, als wenn die Strahlen eines jeden Ob-

1. Siehe z. B. Radicke, Handbuch der Optik. Bd. I. Berlin 1839. 8. S. 406. 407.

jectpunktes von der Entfernung des deutlichen Sehens aus divergirten. Man kann sie daher als nahezu parallel annehmen. Die durch innere Spannungen doppelt brechenden Körper würden daher ihre Figuren unter dem Mikroskope zeigen, nicht aber die Krystallplatten, wenn sie convergentes Licht voraussetzen. Man findet in der That, dass man den entsprechenden Theil eines gekühlten Glases, nicht aber die Ringe einer Bergkrystallplatte (ohne den Gebrauch von Convergenzlinsen (§. 132)) unter dem Mikroskope erkennt.

§. 247. Eine genauere Betrachtung lehrt, dass man keinen so scharfen Unterschied, als hier angenommen wird, in der Wirklichkeit vorfindet. Die Grösse der Doppelbrechung ist in der Regel in den gepressten und den gekühlten Gläsern geringer, als in den Krystallen. Da man dann die Platten der letzteren dünn machen muss, um Gangunterschiede zu erhalten, die nicht Weiss geben, so fordert die Beobachtung der isochromatischen Ringe convergentes Licht (§. 132). Die Platten, Würfel oder Cylinder der gepressten oder gekühlten Gläser geben erst bei grösserer Höhe die zu farbigen Interferenzcurven nöthigen Bedingungen. Die Lichtstrahlen können dann das Präparat schiefer oder minder schief durchsetzen, vorausgesetzt dass die Convergenz nicht zu gross ist. Man wird daher richtiger sagen, dass die gepressten und die gekühlten Gläser einen bedeutenderen Wechsel der Entfernungen für die Beobachtung ihrer farbigen Curven gestatten, als die Krystallplatten, die immer eine von ihrer verhältnissmässig starken Doppelbrechung und ihrer Dicke abhängende beträchtliche Convergenz der Strahlen voraussetzen. Nur diese schadet der Untersuchung der durch Spannung doppelt brechenden Körper, wenn sie zu gross wird. Das Auge sieht sonst ihre Figuren in jeder Entfernung, in der es überhaupt noch so kleine Gegenstände, als die Farbenlinien sind, mit Schärfe wahrnimmt. Das letztere hängt noch damit zusammen, dass ein durch Spannung doppelt brechender Körper nicht einem einzigen Krystallindividuum, sondern einer unendlichen Menge solcher Individuen gleicht (§. 102).

Eine senkrecht auf die optische Achse geschnittene Bergkry-

stallplatte von 8 Millimeter Dicke, die 10 Ringe in rothem Lichte mittelst der Turmalinzange, also bei möglichster Annäherung an das Auge erkennen liess, lieferte schon eine fast glatte, nur am äussersten Umkreise wechselnde Färbung in weissem Lichte und 2 bis 3 Centimeter von der Unterfläche des analysirenden Nicols des Wildschen Polarisationsapparates entfernt. Die verhältnissmässig geringe Doppelbrechung des Quarzes (§. 67) liess eben den ersten Ringdurchmesser allzu gross ausfallen. Eine nur 3⅛ Millimeter dicke Kalkspathplatte dagegen gab noch Kreuz und Ringe in einem Abstande von mehr als 35 Centimetern ihrer starken Doppelbrechung wegen. Gekühlte Glascylinder, Würfel, Parallelepipede und Prismen von 8 bis 15 Millimeter Höhe liessen mich ihre dunkelen und ihre farbigen Polarisationsfiguren in allen Abständen von einem bis mehr als 60 Centimetern erkennen. Die Bilder waren jedoch in einer Entfernung von nur wenigen Centimetern minder scharf, als innerhalb der Grenzen der Sehweite.

§. 248. Man hat einen ähnlichen Unterschied, wenn man ein Präparat von Perlmutt und eines einer völlig getrockneten Linse vergleicht. Bringen wir eine dünne, an der Oberfläche schillernde Platte von Perlmutt in die Turmalinzange, so sehen wir die Ringe des einen Poles mit der sie durchsetzenden Hyperbel, wie in einer Aragonit- oder Glimmerplatte, wenn wir das Ganze dem Auge möglichst nahe halten. Wiederholen wir das Gleiche mit einer völlig lufttrockenen Platte einer Fischlinse, so erkennen wir erst das Kreuz und die Ringe, nachdem wir die Turmalinzange eine Strecke weit von dem Auge entfernt haben. Die Perlmuttplatte gibt in dem Wildschen Polarisationsapparat glatte Farben, wenn sie nur 1 bis 2 Centimeter von der Unterfläche des Zerlegers absteht. Die Linsenplatte dagegen zeigt das Kreuz und die Ringe, diese Entfernung möge einen oder mehr als 60 Centimeter betragen.

Eine Perlmuttplatte liefert kein Polarisationsbild, wenn man einen kleinen Theil derselben unter der starken Vergrösserung eines mit zwei Nicol versehenen Mikroskopes betrachtet. Eine Linsenplatte und ein gekühltes Glas vertragen diese Behandlung, ohne

ihre Polarisationsbilder zu ändern. Man würde übrigens irren, wenn man hieraus folgern wollte, dass alle krystallisirten Körper keine Polarisationsfiguren im Mikroskope darbieten. Die Kalkspathmassen der Rotalien und der äusseren Schale der Anodonten beweisen das Gegentheil, wie wir in dem folgenden Abschnitte sehen werden.

§. 249. Die §. 103 erwähnten Einflüsse, welche die Oberfläche der mit inneren Spannungen versehenen Körper auf die Polarisationsbilder ausübt, kann sich auch in Präparaten organischer Körper geltend machen. Brewster[1] und Biot[2] beschrieben schon am Anfange ihrer Polarisationsuntersuchungen, wie sich die Polarisationsbilder gekühlter Platten ändern, wenn man ein Stück derselben fortbricht, mithin andere Oberflächenbedingungen einführt[3]. Eine parallelepipedische Glasplatte, z. B. ein für mikroskopische Präparate dienendes Schutzgläschen, das rothglühend auf einem kalten Bleche mit der längeren Kante aufgestellt worden, zeigte später bleibend zwei in der Längsrichtung dahingehende, weit von einander abstehende dunkele Linien, wenn sich der längere Durchmesser in ± 45° befand. Beide vereinigten sich durch eine mittlere rautenähnliche dunkele Zeichnung, sowie die Azimuthalstellung jenes Längsdurchmessers 0° oder 90° betrug. Brach ich das Gläschen nicht ganz in der Mitte entzwei, so sah ich schon diese letztere Figur bei ± 45° und zwar in mehr rechteckiger Form. Ein durch ein gekühltes Glas gehender Spalt reicht hin, Biegungen und Verästelungen jener dunkelen Linien hervorzurufen. Der geringste Unterschied der Form oder eine ausgebrochene Stelle lässt andere Polarisationszeichnungen in gekühlten Uhrgläsern auftreten.

§. 250. Die §. 243 erwähnten Cephalopodenlinsen eignen sich am besten, den Einfluss der äusseren Gestalt nachzuweisen. Ich

---

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1816. p. 71. 82 und 1818 p. 263.
2. Biot, *Traité de Physique.* Tome IV. 1816. p. 571.
3. Vergleichende Abbildungen, wie sich eine viereckige Glasplatte vor und nach der Entfernung eines Eckstückes im Polarisationsapparate darstellt, gibt Biot, *Traité.* Pl. IV. Fig. 47 und 49. Experimentalphysik. Bd. V. Leipzig 1829. 8. Taf. XVIII. Fig. 15. Taf. XIX. Fig. 23 und 25.

nehme eine solche seit 3½ Jahren in Weingeist aufbewahrte Doppellinse, mache einen auf die Sehachse senkrechten Flächenschnitt durch die Innenmasse derselben und untersuche das Ganze unter Terpentinöl mit dem einfachen Mikroskope. Es zeigt sich ein dunkeles Kreuz, das in zwei sich nur wenig entfernende Hyperbeln bei dem Drehen des Präparates in seiner Ebene aus einander geht. Habe ich zwei seitliche Flächenschnitte parallel der Sehachse angelegt und orientire sie mit dieser unter ± 45°, so erblicke ich zwei Pfauenaugen, die durch schwarze nach aussen concave Linien von einem mittleren gelb und roth umsäumten Felde getrennt werden, in der vorderen und vier farbige, nicht ganz regelmässig vertheilte Hyperbeln, die ein prachtvolles Pfauenauge jederseits nach aussen abgrenzen, in der hinteren Linsenhälfte. Das Ganze hat seine grösste Lichtstärke bei ± 45° und seine geringste bei 0° und 90°.

Keine der Figuren änderte sich wesentlich, nachdem man die beiden Linsen von einander getrennt hatte. Wurde aber die hintere in der Richtung der Sehachse halbirt, so fielen die beiden seitlichen Hyperbeln mit ihren Pfauenaugen hinweg. Die vordere und die hintere erschienen blauschwarz, hatten das Maximum ihrer wechselseitigen Entfernung bei ± 45° und stiessen zu einem unregelmässigen Kreuze bei 0° und 90° zusammen. Schnitt man eine solche Hälfte senkrecht zur Sehachse in zwei ungefähr gleiche Theile aus einander, so fehlten die Hyperbeln in beiden. Das eine Stück zeigte bei ± 45° ein lebhaftes blaues und zum Theil roth umsäumtes Pfauenauge, das bei 0° und 90° gänzlich verschwand, das andere blaue und rothe aber unregelmässig vertheilte Farben, die bei der Drehung der Platte in ihrer Ebene mannigfach wechselten.

§. 251. Biot[1] gibt noch als Unterschied an, dass die Ringe des Kalkspathes ihre Stellung mit dem Auge ändern und immer auf die gleiche Art erscheinen, durch welchen Punkt der Platte auch die Lichtstrahlen durchgehen, der Ort dagegen, an dem eine

---

1. Biot, *Mém. de l'Institut*. 1816. Tome I. Paris 1818. 4. p. 292. *Traité*. Tome IV. p. 570. Experimentalphysik. Bd. V. S. 218.

gekühlte runde Glasplatte den Ring zeigt, beständig bleibt und sich in allen Lagen des Auges unverrückt erhält. Die richtige Deutung des Satzes kommt auf das schon §. 103 Gesagte heraus. Bringen wir eine vollkommen gleichartige Krystallplatte zwischen die Linsen des WILDschen oder des NÖRRENBERGschen Polarisationsapparates, so können wir sie hin- und herschieben, ohne dass die Interferenzfigur wechselt oder selbst nur von der Stelle zu gehen scheint, weil hier alle kleinsten Einzeltheile gleichwerthig und daher die Bilder von der Oertlichkeit unabhängig sind. Wiederholen wir das Gleiche mit dem gekühlten Glase, so wandert der ins Auge gefasste Punkt des Polarisationsbildes mit der Ortsverrückung des Präparates. Die Perlmuttschliffe verhalten sich wieder in dieser Hinsicht, wie eine Krystallplatte, und die lufttrockenen Linsen, wie ein gekühltes Glas.

§. 252. Es beruhte auf einem Missverständnisse, wenn man behauptete, dass sich ein Unterschied zwischen Krystallen und Spannungskörpern bei der Bedeckung eines Theiles der Ringfigur zeige. Man kann die eine Hälfte des Kreuzes und der Ringfigur eines gekühlten Glascylinders mit einem undurchsichtigen Schirme unsichtbar machen, ohne dass sich die andere im mindesten ändert. Eine Krystallplatte liefert aber vollkommen das Gleiche, so lange die Sinusquadrate der Einfallswinkel, von denen die Ringe abhängen, für die freien Punkte dieselben bleiben.

§. 253. Die Untersuchung bei doppelter Dicke (§. 198) führt bisweilen auf Unregelmässigkeiten, welche die gewöhnliche Beobachtung bei einfacher nicht zum Vorschein bringt. Ein gekühlter Glascylinder zeigte z. B. in dem erstern Falle zwei Ringe, von denen der innere wechselseitig und unregelmässig verschobene Quadranten darbot. Man hatte überdiess zwei bei keiner Azimuthalstellung genau zusammenstossende Hyperbeln statt des Kreuzes. Eine lufttrockene, vollkommen homöotrope[1] Krystalllinse, d. h. eine solche, deren Kreuz und Ringe bei allen Drehungen der Platte in ihrer

1. GRÄFEs Arch. für Ophthalm. Bd. IV. S. 242.

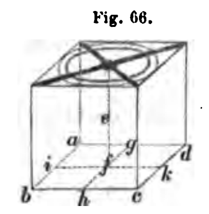
Ebene unverändert bleiben, bewahrt diesen Charakter, man mag sie bei einfacher oder bei doppelter Dicke untersuchen. Der erste Ringdurchmesser fällt natürlich in dem letzteren Falle kleiner aus (§. 200). Man kann den Unterschied unmittelbar versinnlichen, wenn man den zur Beobachtung bei doppelter Dicke gebrauchten Unterlagsspiegel nur zur Hälfte unter die Linsenplatte schiebt. Diese halbe Fläche liefert dann engere und zahlreichere Ringe, als die andere. Allotrope Linsen, d. h. solche, deren Kreuz sich bei dem Drehen in der Ebene in zwei Hyperbeln auflöst, verrathen oft bei doppelter Dicke Unregelmässigkeiten, die sich bei einfacher gar nicht oder in geringerem Maasse kund geben. Eine Linsenplatte von *Lepidoleprus tachyrhynchus* z. B. so orientirt, dass sie das Kreuz und die Ringe fast ganz regelmässig bei einfacher Dicke zeigte, lieferte statt jenes in der Mitte eine aus drei geschlossenen und zusammenstossenden Curven bestehende Figur bei doppelter Dicke.

§. 254. Wir haben schon §. 239 gesehen, dass sich die Doppelbrechung organischer Körper unter dem Einflusse des Druckes bemerklich machen oder vergrössern kann. Der Faserstoff des Pferdeblutes vermag dieses unter dem Mikroskope nachzuweisen. Fängt man das Blut in einem hölzernen oder sonst die Wärme schlecht leitenden Gefässe auf, so dass die Gerinnung verlangsamt wird, so senken sich die Blutkörperchen früher, als aller Faserstoff ausgeschieden worden. Eine gelbliche Entzündungshaut erscheint daher an der Oberfläche des Blutkuchens. Ihre Masse ändert nicht merklich die Farbe eines in das Polarisationsmikroskop eingeschalteten Gypsblättchens, vorausgesetzt, dass das Präparat nicht allzu dick ist. Drückt man sie dagegen zwischen zwei Glasplatten zusammen, so zeigen sich bald einzelne Stellen, in denen z. B. das Roth erster Ordnung des Gypsblättchens in Violett oder Blau zweiter Ordnung übergeht.

§. 255. Der Druck ändert das Kreuz einachsiger Platten in verschiedener Weise, je nachdem diese positiv oder negativ

sind[1] (§. 195). Man kann den Unterschied an halbgetrockneten und an lufttrockenen Linsen (§. 241) nachweisen. Ich stelle einen Linsenwürfel, *abcd* Fig. 66, so ein, dass die Kreuzesarme die Ecken treffen und drücke auf zwei einander gegenüberstehende Flächen mit einer breiten, mit Korkplatten gedeckten Pincette. Die Druckrichtung, z. B. *gh*, halbirt daher das eine Winkelpaar der Kreuzesarme. War früher die einfache optische Achse *ef* und daher die Achsen *gh* und *ik* unter einander gleich, so werden sie jetzt ungleich und *ef* entspricht der Mittellinie (§. 42). Das Kreuz weicht in zwei Hyperbeln auseinander. Nehme ich zu dem Versuche eine halbgetrocknete Rindslinse mit oder ohne vorhergehende Behandlung mit Canadabalsam, so liegt die quere Achse der Hyperbeln in der Druckrichtung, wie in dem positiven Apophyllit. Wähle ich dagegen eine lufttrockene Linse von *Exocoetus volitans*, so verläuft jene Achse senkrecht auf der Druckrichtung, und die längere Achse der länglich werdenden Ringe bietet dasselbe dar, wie in dem negativen Kalkspath (§. 195). Wiederhole ich das Drücken an den Seitenflächen eines Würfels der hinteren Linsenhälfte eines Loligo, an dem die vier Hyperbeln zum Vorschein kommen (§. 243), so nähern sich die beiden, die in der Druckachse liegen, während sich die darauf senkrechten entfernen.

Fig. 66.



Ein positiver Körper hat seine kleinste Elasticitätsachse in der Mittellinie *ef*. Da aber der Druck die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach NEUMANN vergrössert (§. 108), so wird hier die Druckrichtung *gh* zur grössten Elasticitätsachse und daher auch zur queren Achse der Hyperbeln. Die Mittellinie *ef* entspricht der grössten Elasticitätsachse in negativen Körpern. Der Druck macht *gh* zur mittleren und folglich *ik* zur kleinsten Elasticitätsachse, die hier die quere Hyperbelachse darstellt und auf der Druckrichtung senkrecht steht.

Ist der Druck nicht zu stark, so springen die Hyperbeln nach

1. Vgl. schon den hierher gehörenden Versuch von MOIGNO und SOLEIL, bei BILLET a. a. O. Tome II. p. 588. 89.

dem Aufhören desselben zur früheren Kreuzesform zurück. Ich habe unter diesen Verhältnissen einen homöotropen Würfel von *Exocoetus volitans* mehr als 10 solchen Druckversuchen unterworfen, ohne dass sich später eine Spur von Allotropie bei einfacher oder doppelter Dicke (§. 253) verrathen hätte. Die Grenze der vollkommenen Elasticität war hiernach nicht überschritten worden.

§. 256. Die Untersuchung der verschiedenen Glimmerarten hat auf eine Erscheinung aufmerksam gemacht, welche die Entscheidung, ob ein Körper ein- oder zweiachsig sei, wesentlich erschweren kann. BIOT[1], der die optisch zweiachsige Beschaffenheit des Glimmers entdeckte, fand auch schon zwei dieses Mineral betreffende Ausnahmen. Eine grünliche Glimmervarietät aus dem Allathale in Piemont, welche die älteren Mineralogen zum Talke rechneten, erwies sich als positiv, während alle übrigen Glimmerarten negativ sind[2]. Es ergab sich ferner, dass einachsiger Glimmer ausser dem gewöhnlichen zweiachsigen vorkommt[3] und sich beide bei dem Neigen der Platte durch ihre Farbenfolge unterscheiden (§. 202). MARX[4] bestätigte die einachsige Beschaffenheit des grünlich weissen vesuvianischen, des in grossen Krystallen vorkommenden nordamerikanischen und des schwarzen sibirischen oder grönländischen Glimmers, hob aber schon hervor, dass sich das Kreuz in zwei Hyperbeln bei dem Drehen der Platte in ihrer Ebene sondert. Manche Forscher nahmen später zwei Arten von Glimmer, einachsigen und zweiachsigen an, während andere den angeblich einachsigen als zweiachsigen mit kleinem Achsenwinkel (§. 43) betrachteten[5].

BIOT[6] beschäftigte sich schon mit Versuchen, die Wirkung über einander gelegter Glimmerblättchen zu verfolgen, deren

1. Siehe BREWSTER, *Phil. Transact.* 1818. p. 221.
2. BIOT, *Mém. de l'Institut.* 1816. Tome I. Paris 1818. 4. p. 311.
3. BIOT, Ebendaselbst p. 303. 304.
4. MARX, Pogg. Ann. Bd. VIII. 1826. S. 245.
5. Siehe z. B. DOVE, Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. 1853. S. 322. 23.
6. BRANDES in Gehlers physik. Wörterbuch. Bd. VII. Abth. II. Leipzig 1834. 8. S. 830.

Achsenebenen verschiedene Winkel bilden. NÖRRENBERG[1] spaltete sibirischen Glimmer mit grossem Achsenwinkel in Blättchen von ⅛ Wellenlänge Gangunterschied und kittete 24 Blättchen der Art mit Terpentin so zusammen, dass sich die optischen Achsen je zwei unmittelbar folgender rechtwinkelig kreuzten und die je zweier durch ein Zwischenblättchen getrennter parallel gingen. Die Verbindung gab ein Kreuz und Ringe, die sich beide durch das Drehen des Ganzen in seiner Ebene nicht änderten. Das Kreuz erschien höchstens etwas weniger dunkel bei $\pm 45^0$. Man hatte so ein scheinbar einachsiges Präparat aus einem zweiachsigen Glimmer dargestellt. Nahm man dickere Blättchen als erste, dritte und dünnere als zweite, vierte Platte, so konnte man den Achsenwinkel beliebig ändern. Die Ebene der optischen Achsen stimmte dann mit der der dickeren Platten überein.

§. 257. Mehrere mir vorgekommene Fälle führen zu der Vermuthung, dass ähnliche Erscheinungen in der organischen Welt wiederkehren. Ein sehr kleiner Perlmuttschliff einer fossilen *Perna Soldani* zeigte das Kreuz und kreisförmige Ringe, wie eine einachsige Kalkspathplatte. Da das Präparat etwas dick war, so wurde es durch vorsichtiges Schleifen verdünnt und ging dabei in zwei Stücke auseinander. Beide erwiesen sich als zweiachsig mit ziemlich bedeutenden Achsenwinkeln. Wir werden sehen, dass es Molluskenschalen gibt, die einachsigen Kalkspath aussen und zweiachsigen Aragonit innen führen. Die Annahme, dass das dickere Blättchen von *Perna* eine Mischung beider enthielt, kann sein einachsiges Polarisationsbild nicht erklären, weil ja auch die polarisirten Lichtstrahlen die zweiachsigen Lagen durchsetzt hätten. Es wäre dagegen möglich, dass hier in der Natur das Gleiche, wie bei der NÖRRENBERGschen Verbindung der Blättchen stattgefunden hat. Bedenkt man überhaupt, dass die verschiedenen, in gleichen Richtungen abgesprengten Perlmuttpräparate derselben Molluskenschale nicht selten merklich verschiedene Achsenwinkel geben, obgleich sie sämmtlich aus Aragonit bestehen, so liegt die Vermu-

---

1. PLÜCKER, Pogg. Ann. Bd. CX. 1860. S. 406. 407.

thung nahe, dass der beobachtete Achsenwinkel nicht immer die Folge ursprünglicher Moleculraranordnung, sondern nur die Resultante der in verschiedenen Richtungen über einander liegenden Achsenwinkel der einzelnen mikroskopisch dünnen Blätter bildet.

Etwas Aehnliches wiederholt sich an manchen getrockneten Linsenpräparaten. Einzelne zeigen Achterfiguren, wie ich sie in ziemlich ähnlicher Weise hervorbringe, indem ich vier Glimmerblättchen von Lavendelgrau erster Ordnung (§. 174) so kreuze, dass die Achsenebenen des ersten und dritten parallel und des zweiten und des vierten zu ihnen rechtwinkelig verlaufen. Diese Verbindung liefert ein Kreuz mit ellipsenähnlichen Ringen, deren Achsen nicht sehr von einander abweichen, bei 0^0 und 90^0 und eine Achterfigur bei $\pm 45^0$.

§. 258. Das Verfahren von Dove[1] und Plücker[2], die ungleiche Absorption in der Ebene der optischen Achsen und senkrecht darauf (§. 69) zur Entscheidung über die ein- oder die zweiachsige Beschaffenheit des Glimmers zu benutzen, lässt sich auch bisweilen mit Erfolg auf organische Präparate anwenden. Man benutzt dann die zu prüfende Platte als Zerleger, nachdem man ein gekühltes Glas in der Entfernung des deutlichen Sehens über einem Polarisator angebracht hat. Dreht man jene in ihrer eigenen Ebene und senkrecht um die Achse der Vorrichtung, so hat man in zweiachsigem Glimmer eine Stellung, bei der das Glas die gleiche Interferenzfigur wie bei parallelen und eine zweite, bei der es dasselbe Interferenzbild, wie bei rechtwinkelig gekreuzten Polarisationsebenen gibt. Dieses ist aber ein sicheres Zeichen, dass der Glimmer zwei Achsen besitzt. Ein einachsiger würde natürlich das Gleiche für alle Azimuthe liefern. Es ist mir durch dieses Verfahren gelungen, in einem Schalenschliffe, z. B. von *Unio margaritifera*, nachzuweisen, dass er nicht aus Kalkspath, sondern aus Aragonit bestand. Das helle und das dunkele Kreuz nebst dem Ringe eines gekühlten Cylinders erschienen dabei mit aller wün-

1. Dove, Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. 1853. S. 325—27.
2. Plücker, Pogg. Ann. Bd. CX. 1860. S. 408.

schenswerthen Deutlichkeit in den beiden Stellungen. Die Farben stimmten fast ganz mit denen, die sich bei dem Gebrauche eines Nicols als Analysator zeigten, was bei dem Glimmer[1] nicht der Fall ist. Viele organische Platten eigneten sich nicht zu dieser Prüfung.

§. 259. Die allotropen Präparate des Perlmutts, der Hornhaut, der Linse unterscheiden sich von den homöotropen dadurch, dass sich das unter 0^0 und 90^0 sichtbare Kreuz der ersteren in zwei auseinander weichende Hyperbeln, deren Scheitel am meisten bei $\pm 45^0$ gegenseitig abstehen, beim Drehen der Platte in ihrer Ebene auflöst, das der letzteren dagegen in allen Azimuthen gleich bleibt. Man schliesst hieraus, dass die Allotropie ein Merkmal der zweiachsigen, die Homöotropie dagegen ein solches der einachsigen Beschaffenheit bildet. Der gleiche Unterschied kommt übrigens in den Mineralplatten häufiger vor, als man bis jetzt annahm. Biot[2] beschrieb zuerst die Allotropie aus dem (freilich zweiachsigen) Talk und später aus dem negativen einachsigen Beryll[3]. Er hob hervor, dass die Drehung einer Beryllplatte in ihrer Ebene die Form der Ringe und den Mitteltheil des Kreuzes wesentlich ändert und erklärte[4] in der Folge diese Erscheinungen als Andeutungen der zweiachsigen Beschaffenheit jenes Minerales. Marx[5] erwähnte später die Allotropie des scheinbar einachsigen Glimmers und Jenzsch[6] die von rothem Turmalin aus Sachsen und von Elba. Die Durchsicht einer grösseren Zahl von einachsigen, senkrecht auf die Achse geschnittenen Platten lieferte mir die Allotropie in positiven Krystallmassen, wie dem Zinnstein, dem Phenakit, dem Zirkon, dem Hyacinth, dem unterschwefelsaueren Blei (und dem mit sehr kleinem Achsenwinkel versehenen zweiachsigen Dioptas), in negativen im Kalkspath, in scheinbar einachsigem

1. Dove a. a. O. S. 327.
2. Biot, *Mém. de l'Institut. Année* 1816. Tome I. Paris 1818. 4. p. 321. 322.
3. Biot, *Mém. de l'Institut. Année* 1818. Tome III. Paris 1820. 4. p. 213.
4. Biot, Experimentalphysik. Bd. IV. S. 351.
5. Marx, Pogg. Ann. Bd. VIII. 1826. S. 245.
6. Jenzsch, Pogg. Ann. Bd. CVIII. 1859. S. 645. 46.

Glimmer, in Honigstein, Beryll (von Morbihan und aus Brasilien), Idokras (von Monte Somma und einem Exemplare von einem unbestimmten Fundorte in Piemont), rothem Turmalin (von Elba), grünem (aus Brasilien) und dem unterschwefelsaueren Strontian. Diese zweiachsige Beschaffenheit sonst einachsiger Körper rührt möglicher Weise von zweierlei Verhältnissen her. Wie der kohlensauere Kalk in der Krystallform des Kalkspathes einachsig und in der des Aragonits zweiachsig ist, so kann eine Krystallform, die zweiachsig macht (§. 265), in einem sonst einachsigen Körper ausnahmsweise auftreten. Eine zweite Möglichkeit ist durch innere Spannungen (§. 104), durch Blätterpolarisation (§. 109) gegeben, die schon im Krystalle ursprünglich vorhanden gewesen oder erst bei dem Aussägen und dem Schleifen der Krystallplatte entstanden ist. Das Präparat zeigt dann auch bisweilen einen blättrigen Bau an den Stellen, die sich besonders durch Allotropie auszeichnen. Ein- oder zweiachsige Körper können hierbei Figuren darbieten, die von den gewöhnlichen Bildern wesentlich abweichen. Eine sehr blättrige Talkplatte z. B. zeigte die ihrer zweiachsigen Bechaffenheit entsprechenden Curven (§. 189) an einzelnen Stellen sehr deutlich. Andere dagegen ergaben ein allotropisches, in der Mitte etwas verwaschenes Kreuz mit wenigen ellipsenähnlichen Ringen; noch andere endlich die mannigfachsten Achterformen.

§. 260. Die allotropische Aenderung des Kreuzes wird auch noch in einer homöotropen Platte zum Vorschein gebracht, wenn man das linear polarisirte Licht in elliptisches bei der Analyse oder der Polarisation überführt, also ein $^1/_4$ Glimmerblättchen unter 0^0 oder 90^0 einstellt und es nach $\pm 45^0$ dreht, ohne diesen Grenzwerth zu erreichen (§. 220). Zeigt sich eine Hornhaut z. B. oder ein anderes Präparat, das nur ein Kreuz und keine Ringe liefert, allotropisch, so kann dieses von seiner zweiachsigen Beschaffenheit oder davon herrühren, dass das heraufkommende linear polarisirte Licht durch die unteren verschobenen Schichten des Präparates elliptisch polarisirt wird. Das erstere ist im Ganzen das wahrscheinlichere, da sich die regelmässige ursprünglich vorhandene Anordnung der Molecüle bei dem Eintrocknen zu ändern pflegt.

Sind dagegen Ringe vorhanden, so liefern diese ein Unterscheidungsmerkmal. Eine zweiachsige Platte gibt lemniscatenähnliche Curven (§. 190) bei irgend grossem und ellipsenähnliche Ringe, die der Gleichung der Lemniscate ebenfalls entsprechen, bei sehr kleinem Achsenwinkel, um den es sich hier in der Regel handelt. Die sonst kreisförmigen Ringe werden dagegen in elliptisch polarisirtem Lichte quadrantanweise auseinander gebrochen und mit ihren hellsten und dunkelsten Stellen um einen Theil ihrer Breite verschoben. Gerade das letztere und nicht das erstere findet aber bei vielen allotropischen Linsenpräparaten statt. Wir wollen daher ein solches Präparat elliptisch-polarisirend nennen.

Fünfter Abschnitt.

Bemerkungen über einzelne Gewebe der Pflanzen und der Thiere.

§. 261. Die Angaben, die nicht ausdrücklich unter dem Namen eines anderen Schriftstellers im Texte aufgeführt werden, beruhen auf Erfahrungen, die ich selbst zu machen Gelegenheit hatte. Ich nenne in den Anmerkungen die wichtigsten Aufsätze derer, die früher schon denselben Gegenstand behandelt haben [1], vermeide

1. Ausgedehnte Prüfungen verschiedener organischer Theile unter dem Polarisationsmikroskope finden sich in: Brewster, *Phil. Transact.* 1815. p. 29—53. Boeck in Hannovers Bericht in Müllers Arch. 1844. S. 1. 2. C. v. Erlach in Müllers Archiv 1847. S. 313—37. Ehrenberg in den Monatsberichten der Berliner Akademie. 1848. S. 238—47 und 1849. S. 55—76. H. Schacht, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Gewächse. Th. I. Berlin 1855. 8. S. 428—35. H. Mohl in d. Botanischen Zeitung. 1858. S. 1—6 und 9—18. (Pflanzengewebe). W. Müller in Henle und Pfeuffers Zeitschrift Bd. X. 1860. S. 173—94. (Elastisches Gewebe, Bindegewebe, Knochen und Knorpel.) Die Bemerkung von Billet (a. a. O. Tome II. p. 538.) „*La méthode de Mr. de Sénarmont, appliquée aux bois, montre qu'ils sont doués d'une hétérogénéité très-intense et fait regretter que par defaut de transparence leur réfraction double reste latente. Toute substance organisée est hétérogène et conséquemment biréfringente.*“ dürfte in dem Texte dieses Abschnittes ihre Erläuterung und theilweise Berichtigung finden.

aber dabei Wiederholungen so sehr als möglich. Ist ein einachsiger Körper erst im Laufe der ferneren Entwickelung oder durch Spannungen, die bei der Präparation entstanden, zweiachsig geworden, so spreche ich von nachträglich zweiachsig oder nachträglich elliptisch polarisirend (§. 260). Die Ausdrücke senkrecht, tangentiell und radial (§. 164) für die drei auf einander senkrechten Hauptrichtungen der optischen Achse werden angewendet, wenn auch die Theile, wie gewöhnlich, weder Cylinder noch Kugeln bilden. Die Frage, ob die optische Achse genau senkrecht oder unter einer mässigen Neigung zu einer dieser drei Hauptrichtungen dahingehe, lässt sich ohnediess in den wenigsten Fällen entscheiden. Die Azimuthalstellungen entsprechen immer dem §. 163 Fig. 30 gegebenen Schema. Man muss sich hüten, die Ausdrücke verhältnissmässig positiv oder verhältnissmässig negativ (§. 233) oder positiv oder negativ in Bezug auf eine bestimmte Achse mit positiv oder negativ, die nur nach sicherer Feststellung der optischen Achsenrichtung gebraucht werden, zu verwechseln. Ist von einem Gypsblättchen ohne Weiteres die Rede, so verstehe ich immer ein solches von Roth erster Ordnung von dem Werthe 536 (§. 174) und einer mittleren Dicke von 0,065 Mm. (§. 199). Spreche ich von Steigen, so meine ich den bei weitem häufigsten Fall, dass sich die rothe Farbe in Blau verwandelt. Das Wort Sinken oder Fallen bedeutet dann, dass sie in Gelb übergeht. Hat man ausnahmsweise Grün statt Blau oder Roth bis Orange statt Gelb, so ist dieses ausdrücklich bemerkt. Die gefärbten Quadranten werden immer nach der Richtung des sie verbindenden Durchmessers oder ihrer Achse, nicht aber nach ihren Bogen oder Tangenten bestimmt. Sage ich z. B. dass die Farbe parallel der unter $+45^0$ orientirten Achsenebene des Gypses steigt und senkrecht darauf sinkt, dass man also eine verhältnissmässig positive Wirkung hat, so heisst dieses, dass der erste und der dritte Quadrant (§. 163) blau und der zweite und vierte gelb statt roth erscheinen. Die gleiche Ausdrucksweise bezieht sich auf das schwarze dunkele Büschelpaar, welches $^1/_4$ Glimmerblättchen oder circular polarisirtes Licht überhaupt erzeugt (§. 216). Die auf den schwarzen senkrecht stehenden hellen Büschel werden

als selbstverständlich nie hervorgehoben oder in der Ausdrucksweise berücksichtigt. Alle Untersuchungen, von denen nicht das Gegentheil angegeben worden, beziehen sich auf die rechtwinkelige Kreuzung der Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators, also auf das dunkele Gesichtsfeld. Eine Linie oder ein Bezirk verhält sich neutral, wenn sein Verlauf den ursprünglichen Grund wiedergibt, also den dunkelen bei gewöhnlicher Beobachtung und den rothen nach der Einschaltung des Gypsblättchens unter ± 45°. Die Abbildungen wurden nicht photographisch aufgenommen, weil auf diesem Wege andere Polarisationsfiguren, als das Auge sieht, z. B. solche mit verschobenen Ringen erhalten werden[1].

I. Krystalle und krystallinische Kugeln.

§. 262. Sind die doppelt brechenden mikroskopischen Krystalle dünn genug, so liefern sie meist lebhafte Polarisationsfarben. Genügen sie dieser Bedingung nicht, so leuchten sie wenigstens mit grosser Lebhaftigkeit. Man hat daher häufig die Untersuchung in polarisirtem Lichte als ein vorzügliches Erkennungsmittel der kleinsten mikroskopischen Krystallbildungen mit Recht empfohlen. Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass die Krystalle des regulären Systemes einfach brechen, so lange keine Blätterpolarisation (§. 109) eingreift. Fehlt das Leuchten auf dem dunkelen Gesichtsfelde, so lässt sich hieraus nicht mit Sicherheit schliessen, dass keine Krystalle vorhanden sind. Hat man die Deckröhre (§. 234) nicht heruntergelassen, so kann man sich hierbei leicht täuschen, weil einfach brechende Krystalle auf dem schwarzen Grunde häufig glänzen, indem ihre spiegelnden Flächen seitlich einfallende Strahlen gewöhnlichen Lichtes als theilweise polarisirtes nach der Mikroskopröhre zurückwerfen. Man muss sich auch hüten, ziemlich eben gesprungene doppelt brechende Bruchstücke mancher organischer Theile oder fester Rückstände von Flüssigkeiten für Krystalle zu halten.

1. CROOKES, Pogg. Ann. Bd. XC. 1853. S. 483—88 und STOKES, ebendaselbst S. 488—497.

§. 263. Die Farben, welche die mikroskopischen Krystalle in dem polarisirten Lichte entwickeln, hängen nicht bloss von der Stärke ihrer Doppelbrechung, sondern auch von ihrer Dicke ab. Man wird daher finden, dass z. B. manche Raphiden, die sehr schöne Gestalten in gewöhnlichem Lichte darbieten, die erwartete Farbenpracht nicht zeigen und nur weissglänzend auf dem dunkelen Grunde oder dem durch ein Gypsblättchen roth gemachten Felde erscheinen. Ihre grössere Dicke erklärt diese Wirkungsweise. Die Krystalle von kohlensauerem Kalke (Aragonit) aus den Hüllen des centralen Nervensystemes der Amphibien, die des Gehörsandes und der Gehörsteine, die mikroskopischen Kryställchen von Weinsteinsäure, Bernsteinsäure, Tripelphosphat, kleesauerem Kalk, harnsauerem Ammoniak, Leucin und vorzüglich die kleinen in Canadabalsam aufbewahrten Wetzsteine der Harnsäure und stufenweise abgesplitterte Blättchen von Gallenfett lieferten mir die lebhaftesten und mannigfachsten Farben. Hat man die kleinen Harnsäure-Wetzsteine in Canadabalsam gefasst und schaltet noch ein Gypsblättchen von Violett zweiter Ordnung ein, so erhält man eine Farbenpracht, wie sie selbst auf dem Gebiete der Polarisation selten vorkommt.

§. 264. Das Polarisationsmikroskop kann die wahre Beschaffenheit von Massen, die man mit Unrecht für Krystalle hält, nachweisen. Die festen Rückstände vieler unorganischer und organischer Körper blättern sich unter äusserem Drucke so ab, dass man sie für Krystallstücke selbst nach der mikroskopischen Untersuchung ausgegeben hat. Das polarisirte Licht beseitigt diesen Irrthum. Es leistete mir z. B. mehrere Male diesen Dienst für angebliche Blutkrystalle.

§. 265. Stellen wir uns die Krystalle, welche den Mikroskopiker besonders angehen, nach der Uebersicht von Rammelsberg[1] zusammen, so haben wir:

---

1. C. F. Rammelsberg, Handbuch der krystallographischen Chemie. Berlin 1858. 8.

1. Krystalle des gleichachsigen, regulären oder tesseralen Systemes mit einfacher Brechung
(wenn keine Blätterpolarisation eingreift).

Phosphor.
Chlornatrium oder Kochsalz. [Wasserfrei. Das Hydrat (Na Cl + 4aq) zwei- und eingliedrig].
Chlorammonium oder Salmiak.
Chlorsilber.
Bromkalium.
Bromnatrium.
Jodkalium.
Jodammonium.
Cyankalium.
Cyanammonium.
Chlorsaueres Natron (§. 89).
Bromsaueres Natron (§. 89).
Kali-Alaun ($\dot{K}\dddot{S}+\ddot{A}l\dddot{S}+24$ aq).
Natron-Alaun.
Ammonium-Alaun.
Krystallisirte Essigsäure.
Camphor.

2. Krystalle mit doppelter Brechung und einer optischen Achse.

a. Viergliedrige, tetragonale oder quadratische Gestalten.

Quecksilberchlorür oder Kalomel.
Quecksilbercyanid.
Parasulphat-Ammon ($NH^3\dddot{S}$).
Phosphorsaueres Kali.
Phosphorsaueres Ammoniak ($\dot{A}m$ $\ddot{\dddot{P}}+2$ aq).
Kleesauerer Kalk (in der Regel).
Kaliumeisencyanür oder Blutlaugensalz.
Ammoniumeisencyanür.
Cholsäurehydrat.
Schwefelsaueres Strychnin (§. 89).
Hämatoxylin.
Harnstoff.

b. Sechsgliedrig, hexagonal oder rhomboëdrisch.

Kieselsäure in der Form des Quarzes.
Eis.
Gewöhnlicher Kali-Salpeter[1].
Natron-Salpeter[2].
Zinnober (§. 89).
Kohlensauerer Kalk in der Form des Kalkspathes.
Kochsalz-Traubenzucker.

---

1. Lässt man einen Tropfen der Lösung verdunsten, so krystallisirt er zuerst nach FRANKENHEIM in Rhomboëdern wie der Kalkspath. Diese Krystalle lösen sich bald wieder und es kommt später die zweiachsige, der des Aragonits ähnliche Gestalt zum Vorschein.

2. Nach MARX sehr stark doppelt brechend.

3. Krystalle mit doppelter Brechung und zwei optischen Achsen.

a. Zweigliedrig, zwei- und zweigliedrig, isoklinisch, rhombisch.

Schwefel (z. Theil).
Jod.
Quecksilberchlorid.
Gelbes Quecksilberiodid.
Einfach schwefelsaueres Kali ($\dot{K}\dddot{S}$).
Wasserfreies schwefelsaueres Natron ($\dot{Na}\dddot{S}$).
Wasserfreier schwefelsauerer Kalk (Anhydrit).
Schwefelsauerer Baryt (Schwerspath).
Schwefelsauere Talkerde oder Bittersalz ($\dot{Mg}\dddot{S} + 7\,aq$).
Schwefelsaueres Zinkoxyd.
Gewöhnlicher Kali-Salpeter.
Salpetersaueres Silberoxyd.
Einfach phosphorsaueres Natron ($\dot{Na}\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{P} + 4\,aq$).
Phosphorsauere Ammoniak-Magnesia oder Tripelphosphat.
Kohlensaueres Natron ($\dot{Na}\ddot{C} + aq$).
Kohlensaueres Ammoniak.
Kohlensauerer Kalk in der Form des Aragonits.
Kleesaueres Ammoniak.
Zweifach weinsteinsaueres Kali oder gewöhnlicher Weinstein ($\dot{K}\overline{T}^2 + aq$).
Zweifach weinsteinsaueres Ammoniak.
Weinsteinsaueres Kali-Natron, Seignettesalz oder Rocheller Salz ($\dot{K}\overline{T} + \dot{Na}\overline{T} + 8\,aq$).
Weinsteinsaueres Ammoniak-Natron.
Traubensaueres Kali.
Traubensaueres Ammoniak.
Talk.
Citronensäure.
Aepfelsaueres Ammoniak.
Aepfelsauerer Kalk.
Bernsteinsäure.
Gallussäure.
Cholsäure.
Hippursäure.
Hippursauerer Kalk.
Salpetersauerer Silberoxyd-Harnstoff ($2\,\dot{Ag}.\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{N} + C^2H^4N^4O^2$).
Weinsteinsaueres Cinchonin (§. 88).
Chinidin (§. 88).
Chlorwasserstoff-Chinidin-Morphin (§. 88).
Codeïn.
Schwefelsaueres Codeïn.
Sarkosin.
Indigblau.
Cumarin.
Cubeben-Camphor.
Terpentinölhydrat.
Copaivaharz.
Santonin.
Santonin-Natron.

b. Zwei- und eingliedrig, monoklinisch.

Kleesäure.
Chlornatriumhydrat (Na Cl + 4 aq).
Wasserhaltiges schwefelsaueres Natron oder Glaubersalz.
Wasserhaltiger schwefelsauerer Kalk oder Gyps.
Einfach schwefelsaueres Quecksilberoxydul.
Halb phosphorsaueres Natron ($\dot{Na}\,\ddot{P}$ + 15 aq oder 25 aq).
Chlorsaueres Kali.
Kohlensaueres Natron ($\dot{Na}\,\ddot{C}$ + 3 aq und 10 aq).
Kohlensauere Talkerde.
Einfach kohlensaueres Kali ($\dot{K}\,\ddot{C}$ + aq).
Kleesauerer Kalk (nach BROOKE in dieser Form in der Natur vorkommend).
Essigsaueres Natron.
Weinsteinsäure.
Einfach weinsteinsaueres Ammoniak ($\dot{Am}\,\bar{\bar{T}}$ + aq).
Weinsteinsaueres Kali-Ammoniak (*Tartarus ammoniatus*).
Citronensaueres Kali.
Citronensaueres Natron ($\dot{Na}\,\bar{C}$ + aq).
Zimmetsäure.
Chlornatrium-Harnstoff (Na Cl + $C^2H^4N^2O^2$ + 2 aq).
Piperin.
Xanthoxylin.
Allantoin.
Kreatin.
Kreatinin.
Glycin oder Leimsüss.
Taurin.
Cholesterin.
Rohrzucker.

c. Eingliedrig, ein- und eingliedrig, triklinisch.

Kupfervitriol.
Doppelt chromsaueres Kali.
Zweifaches und dreifaches citronensaueres Ammoniak ($\dot{Am}\bar{C}$ und $\dot{Am}\,C^3$ + aq).
Schwefelsaueres Cinchonin?
Traubensäure?

Ich kann als d o p p e l t b r e c h e n d nach eigenen mikroskopischen Untersuchungen hinzufügen:

Aesculin.
Aloïn.
Ammoniak, harnsaueres.
Anissäure.
Arbutin.
Asparagin.
Atropin.
Baryumcholoïdat.
Benzoësäure.
Berberin (reines).

Bezoarsäure.
Brucin.
Caffeïn und Thëin.
Camphorsäure.
Cetrarin.
Choloïdinsäure, rohe oder Gmelins Gallenharz.
Chinin.
Cinchonin.
Cubeben.
Cystin.
Delphinin. (?)
Emetin. (?)
Glycocholsäure.
Glycose.
Guanin, salzsaueres (aus der Bauchspeicheldrüse).
Hämatinkrystalle.
Häminkrystalle.
Harnsäure, farblose und gefärbte.
Harnstoff, kleesauerer.
Harnstoff, salpetersauerer.
Hydrochinon.
Hydrochinon, grünes
Hypoxanthin, salzsaueres.
Inosit.
Kieselsäure (aus Wasserglas durch Fällung mit Salmiak dargestellt).
Kreatinin-Zinkchlorid (aus Harn).
Leucin.
Mannit.
Margarinsäure.
Meconin.
Meconsäure.
Methyloxyd, oxalsaueres (Oxalformester).
Natriumbiurat.
Narcotin.
Nitro-Cumarin.
Olivil.
Ononin.
Papaverin.
Paraffin.
Peucedanin.
Phloridzin.
Pikrotoxin.
Rheïn.
Salicin.
Schwefelcyankalium.
Stearin.
Stearinsäure.
Strychnin.
Taurin, kochsalzhaltiges.
Thebaïn.
Thialdin.
Thialdin, salzsaueres.
Traubensäure (§. 88).
Tyrosin.
Veratrin (?)
Wallrath.
Xanthin.
Zinkoxyd, neutrales milchsaueres.
Zinkoxyd, saueres milchsaueres.

§. 266. Der kleesauere Kalk, dem die meisten in den Pflanzen vorkommenden Krystalle angehören, dessen Quadratoktaëder hin und wieder in der Form der Briefpakete in dem

Harne des Menschen gefunden werden und der einzelne Krystalle oder Krystalldrusen in dem Pferdeurine bildet, krystallisirt wahrscheinlich immer in seinen gewöhnlichen einachsigen Formen. Schon die kleinsten Krystalle desselben leuchten lebhaft auf dem dunkelen Grunde.

§. 267. Will man die Raphiden in ihrer natürlichen Lage untersuchen, so braucht man nur eine longitudinale oder schiefe Schnittfläche des Blattstieles von *Musa paradisiaca* abzuschaben. Die auf dem Messer bleibende Masse enthält dann kleine Zellenanhäufungen, zwischen denen einzelne, die Raphidenbündel führen, zerstreut liegen. Bildet eine solche Anhäufung krystallisirter Nadeln, wie gewöhnlich, ein dickeres Ganze, so glänzt die Hauptmasse silberweiss und nur die hervorragenden Nadelspitzen, in denen das Licht eine kürzere Wegstrecke durchläuft, geben lebhafte Polarisationsfarben. Die Einschaltung eines Gypsblättchens hilft natürlich hier ebensowenig, als in allen ähnlichen Fällen zu grosser Dicke. Die vereinzelten Raphiden können in den prachtvollsten Färbungen glänzen, vorzugsweise nachdem sie in Canadabalsam eingeschlossen worden.

Die trockene Wurzel der Meerzwiebel (*Scilla s. Urginea maritima*) eignet sich in hohem Grade zur Anfertigung zierlicher Demonstrationsobjecte. Die Raphiden eines in Canadabalsam enthaltenen feinen Schnittes zeigen bisweilen die reinsten und prachtvollsten Färbungen. Diese erreichen ihre grösste Lichtstärke in den Azimuthen $\pm 45^0$ und ihre geringste bei 0^0 und 90^0. Das Bild verschwindet nicht gänzlich in den beiden letzteren Stellungen, weil nicht alle Nadeln parallel verlaufen und nicht selten bei der Präparation erzeugte schief gelagerte Zerklüftungsstücke an oder zwischen ihnen gefunden werden. Fragmente, welche die prächtigsten Farben unter stärkeren Vergrösserungen liefern, glänzen oft in bedeutender Menge neben den unter 0^0 oder 90^0 dunkel gewordenen unversehrten Raphidenbündeln. Diese letzteren und andere Bruchstücke entwickeln ihre ganze Farbenpracht unter $\pm 45^0$, während jene dann lichtarmer werden. Die Haufen kleinerer, nicht nadelförmiger Krystalle und die zarten Krystall-

drusen, die man in feinen Schnitten der Wurzel der Meerzwiebel bemerkt, bilden noch eine zierliche Beigabe zu jenen Raphidenbündeln.

Aloë picta enthält ebenfalls dünne zur Farbenentwickelung geeignete Raphiden. Die für die gewöhnliche mikroskopische Untersuchung so schönen Raphidenbündel der Mechoacannawurzel dagegen sind wenigstens in ihren grösseren Exemplaren zu undurchsichtig, als dass sie sich in gleich vortheilhafter Weise in dem polarisirten Lichte darstellten.

Eine wahre Fundgrube zur Demonstration sehr geeigneter und die mannigfachsten Farben liefernder Kryställchen lieferte mir ein getrockneter Querschnitt der Nadel von *Abies pectinata* Dec. Einzelne, wie es scheint, rhombische und andere prismatische Gestalten, die der Essigsäure widerstehen, finden sich in der falschen *Angostura* und seltener in der Wurzel von *Iris florentina*.

§. 268. Der kohlensauere Kalk, den wir in dem Gehörsande und in verwandten Bildungen antreffen, krystallisirt in der Form des zweiachsigen Aragonits und nicht in der des einachsigen Kalkspathes. Die Kryställchen der Kalksäckchen des Frosches geben die durch das Gypsblättchen erzeugte Grundfarbe unter 0^0 und 90^0 wieder und entwickeln die schönsten Färbungen unter $\pm 45^0$.

Die nadelförmigen Blättchen, die z. B. an der Regenbogenhaut des Hechtes vorkommen, glänzen in verschiedenen lebhaften Farben. Hat man sie in einem Wassertropfen angerührt und lässt diesen frei verdunsten, so zeigt sich, dass fortwährend neue farbige Blättchen aufblitzen, weil sich viele drehen oder oscilliren. Dieses schöne Schauspiel, das ich auch an den Irisblättchen des Krokodiles beobachtete, hält an, bis Alles trocken geworden.

§. 269. Hat man die Zirbeldrüse oder die Adergeflechte des Gehirns eines Erwachsenen mit einer Lösung von kaustischem Kali durchsichtig gemacht, so findet man in günstigen Fällen krystallinische Kugeln von $^1/_6$ bis $^3/_{10}$ Millimeter Durchmesser, die ein dunkeles, in allen Azimuthen unverändertes Kreuz liefern.

Das Gypsblättchen und ¼ Glimmerblättchen führen zu negativen Wirkungen. Dieses entspricht der negativen Beschaffenheit der kalkreichen Nadeln, die radial dahingehen. Das Kreuz wiederholt sich bisweilen in jeder von zwei doppelbrotartig verbundenen grösseren Kugeln und regelmässiger oder unregelmässiger in manchen Maulbeerkugeln, vorzugsweise bei dem Gebrauche schwächerer Vergrösserungen. Jeder der Quadranten kann dann seine Zusammensetzung aus untergeordneten Kugeln dessenungeachtet verrathen. Er gibt noch ziemlich gleichmässig vertheilte Farben nach der Einschaltung eines Gypsblättchens.

§. 270. Manche Menschenleichen liefern einen Hirnsand, in dem selbst die umfangreichsten Kugeln kein Kreuz bei schwachen oder starken Vergrösserungen zeigen, deren Nadeln also nicht regelmässig strahlig gestellt sind. Das gewöhnliche Licht weist dann meistentheils keine concentrische Schichten nach. Die Radien, welche die Kugeln besitzen, glänzen zwar immer weiss oder farbig in polarisirtem Lichte. Die entschiedene Flächenwirkung des Gyps- oder des Glimmerblättchens fehlt aber bei der unregelmässigen Anordnung der Kryställchen.

Der Hirnsand eines Menschen, der diese Art von Kugeln darbot, enthielt noch zwei andere Bildungen in reichlichster Menge. Hatte man ihn nach der Kalibehandlung ausgewaschen, getrocknet und dann 24 Stunden in Terpentinöl liegen lassen, so zeigten die kleineren, in ihm in vorherrschender Menge enthaltenen Gebilde die prachtvollsten, oft völlig glatten Polarisationsfarben (§. 196), vorzugsweise, wenn sie eine spindelförmige Gestalt besassen. Die meisten rundlichen dagegen wurden von einem schwarzen Kreuze durchzogen. Die Untersuchung in gewöhnlichem Lichte lehrte, dass viele von ihnen aus doppelbrotartigen Gebilden bestanden, die einen länglichen dunkelen Centraltheil oder einen dunkelen Grenzstreifen an der Verschmelzungsstelle enthielten. Das polarisirte Licht bewies also, dass man eine sehr symmetrische Vereinigung der beiden scheinbar selbstständigen Kugeln vor sich hatte, obgleich sie durch ein nicht kugeliges Zwischenstück verbunden waren. Man fand überdiess einzelne runde concentrisch geschichtete

Kugeln, die nicht bloss ein Kreuz, sondern auch andere regelmässige oder unregelmässige Schatten darboten. Viele wirkten, wie gewöhnlich, negativ. Manche dagegen schienen sich verhältnissmässig positiv zu verhalten, was vermuthlich von der Stellungsweise ihrer an und für sich negativen Nadeln abhing.

§. 271. Die keulenförmigen oder sonst unregelmässigen Gestalten, die man in dem Hirnsande antrifft, zeigen oft das Kreuz an einem Theile ihrer Masse, während das Uebrige keine bestimmte Figur liefert. Ich habe grössere Doppelkugeln angetroffen, von denen die eine die Einschaltung eines Gypsblättchens verhältnissmässig negativ mit grosser Lebhaftigkeit erwiderte, während die andere die Farbe parallel der Achsenebene des Gypses stark erniedrigte, senkrecht darauf dagegen nur spurweise erhöhte. $1/4$ Glimmerblättchen liess den Unterschied noch deutlicher erkennen.

§. 272. Man findet häufig, und am leichtesten in den Adergeflechten, grauweisse oder gelbliche, nicht mit grösseren Kalkmassen durchsetzte Kugeln, die man bald als jüngere Stufen der kalkreichen Gebilde, bald als Amyloidkörperchen gedeutet hat. Sie liefern ein scharfes Kreuz, geben bisweilen, wie die kalkigen, Farben schon ohne die Einschaltung anderer doppelt brechender Körper und wirken häufig verhältnissmässig negativ. Es kam mir ausnahmsweise vor, dass eine Kugel relativ negativ und eine dicht daneben liegende verhältnissmässig positiv erschien.

Der Pferdeurin enthält ebenfalls einfache oder doppelte Kugeln mit einfachem oder doppeltem Kreuze. Man stösst aber hier und besonders in dem Harne des Kaninchens auf kleinere doppelt brechende Kugelmassen, die weder bestimmte neutrale Richtungen, noch regelmässige Farbenvertheilungen liefern. Man erkennt leicht die Doppelbrechung der Kalkmassen, die sich an dem Chorion für die Bildung der Eischale absetzen, in Präparaten aus dem Huhne, aus *Falco subbuteo*, *Falco apivorus* und an Schliffen aus der Moschusente.

Die häutigen durchsichtigen Gebilde, welche die Kugeln des Hirnsandes und des Pferdeurines nach der Behandlung

mit Essigsäure zurücklassen, besitzen gar keine oder eine kaum merkliche Doppelbrechung.

II. Kieselschalen.

§. 273. EHRENBERG[1] gab nach seinen ersten Untersuchungen an, dass die Kieselschalen seiner lebenden und fossilen *Polygastrica,* sowie alle geformten Kieselabsonderungen der Pflanzen das Licht einfach brechen. Nur die fossilen Reste zeigten bisweilen Doppelbrechung in Gebilden, die im Leben einfach brechen. Während sich BAILEY diesen Angaben anschloss, hob MOHL[2] hervor, dass verschiedene Arten von *Navicula*, *Synedra* und besonders *Pleurosigma* und *Melosira arenaria* das Licht doppelt brechen. Da das Glühen die kräftige Wirkung der Oberhautzellen von *Equisetum hiemale* nach diesem Forscher ausserordentlich schwächt, so schliesst er, dass sie nicht von der eingelagerten Kieselerde abhängt. MAX SCHULTZE[3] endlich konnte aus Fluor und Kieselglas bei Berührung mit feuchter Luft Kieselerdehäutchen ausscheiden, welche dieselbe Zeichnung, wie *Navicula angulata* (*Pleurosigma angulatum*) und andere Diatomeen darboten. Er hält die Höcker mit sechsseitiger Grundfläche, in welche sich die Linienzeichnungen dieser Kieselpanzer bei stärkerer Vergrösserung auflösen sollen, für Quarzkrystalle.

§. 274. Die Doppelbrechung der Pleurosigmaschalen, die sich schon ohne Weiteres verräth, lässt sich nach der Einschaltung eines Gypsblättchens näher verfolgen. Stelle ich zwei rechtwinkelig gekreuzte Schalen von *Pleurosigma angulatum* unter $\pm 45^0$ ein und orientire das Gypsblättchen mit seiner Achsenebene unter $+45^0$, so erscheint das freie Pleurosigmastück $+45^0$ blau und das -45^0 gelb. Setzt man nun voraus, dass die Schale, wie der Quarz,

1. EHRENBERG, Monatsberichte der Berliner Akademie. 1848. S. 242. Vgl. auch 1849. S. 73.
2. H. MOHL in seiner Botanischen Zeitung. 1858. S. 10 und Pogg. Ann. Bd. CVIII. 1859. S. 185.
3. M. SCHULTZE, Verhandl. d. naturhist. Vereins der preuss. Rheinlande. Jahrg. XVII. Bonn 1860. S. 21.

positiv ist, so folgt hieraus, dass die vorherrschende optische Achsenrichtung der die beiden Spitzen verbindenden Längsachse des Pleurosigma parallel geht. Sie scheint jedoch nicht die ausschliessliche zu sein, weil einzelne Punkte der Fläche einen orangegelben Schimmer, statt des rothen Grundes bei 0° und 90° liefern.

§. 275. Untersuchte ich verschiedene Kieselguhre von Eger, der Lüneburger Haide und Santa Fiore und das Bergmehl von Lillhaggsjön in Lappland, so zeigte weitaus die grösste Menge der Kieselgebilde keine deutliche Spur von Doppelbrechung. Ich fand höchstens einzelne Navicellen, die einen gelblichen Schein auf den rothen Grund des Gypsblättchens bei ± 45° warfen. Die geglühten Schalen von *Taenidium Bremii* erwiesen sich ebenfalls als einfach brechend. Der geglühte Aarschlamm dagegen enthielt Synedraformen von entschiedener Doppelbrechung.

Sie fehlte in den durch Säure isolirten Kieselnadeln und den Kieselkörpern der Spongien.

III. Kalkstäbe und Kalknetze, vorzüglich der Polypen und der Stachelhäuter.

§. 276. Orientirt man die isolirten kleinen zackigen Kalkspindeln der *Gorgonia muricata* so, dass ihre Längsachse in 0° oder 90° steht, so erscheint die Hauptmasse dunkel und ein grösserer oder geringerer Theil der seitlichen schiefen Warzen leuchtet hell heraus. Die grösste Lichtstärke der farbigen sowohl, als der weissen Abschnitte tritt bei ± 45° auf. Manche liefern schöne Farbenringe an ihrer zackigen Basis. Sie erklären sich aus der feinen Blätterung, welche die gleichen Wirkungen in Krystallen, z. B. in denen des salzsaueren Thialdins erzeugt. Etwas Aehnliches oder sehr zierlich vertheilte Farbenflecke kommen an den Kalknadeln der *Pennatula rubra* zum Vorschein. Die neutralen Hauptrichtungen verlaufen der Länge und der Quere nach hier sowohl als in den Spindeln der *Gorgonia*.

§. 277. Betrachtet man die kleinen länglichrunden, aus strahligen warzenähnlichen Stücken bestehenden Kalkkörper aus der

mit Kali durchsichtig gemachten oder aufgelösten Haut der *Synapta Duvernaea* mit Einschaltung eines Gypsblättchens, so findet man, dass die meisten, nicht aber alle, deren Längsachse unter 0° oder 90° dahingeht, roth, die schief gestellten weiss, gelb oder blau erscheinen. Die gesonderten Anker von *Synapta Duvernaea, vittata* oder *zebrina* geben lebhafte Farbenbilder. Viele von ihnen wiederholen die Farbe des Grundes und zwar sowohl für den Stiel, als den quer zu diesem stehenden Bogenarm, wenn die Achse des Ankers einen Winkel von 26° bis 35° mit einer der beiden Polarisationsebenen bildet. Die Ankerspitzen sind dabei höchstens orangegelb gefärbt. Andere Anker zeigen das Gleiche unter kleineren Neigungswinkeln oder selbst, wenn der Stiel unter 0° oder 90° steht. Drehe ich ihn z. B. in dem letzteren Falle in seiner eigenen Ebene, so gibt er Blau, Blauweiss und Gelblichweiss an verschiedenen Stellen unter + 45° und lebhaftes Gelb und Blau unter — 45°. Die Richtung der optischen Achse wechselt also an den verschiedenen Stellen des Ankers. Viele der isolirten Kalknetze endlich, die sich neben den Ankern vorfinden, zeigen häufig die Grundfarbe für den grössten Theil der in den verschiedensten Richtungen dahingehenden Bälkchen unter 0° und 90°. Andere dagegen liefern lebhafte gelbe, grüne oder blaue Farben gerade bei dieser Einstellungsweise. Es kommt vor, dass der benachbarte Anker roth, wie der Gypsgrund, und das anliegende Kalknetz farbig erscheint oder umgekehrt. Hat man noch die durchsichtig gemachte Haut erhalten, so bekommt man die schönsten Bilder, weil sie selbst doppelt bricht und dann die meisten Anker und Netze ihre natürlichen gegenseitigen Lagenbeziehungen darbieten.

§. 278. Die Haut der Holothurien enthält Kalknetze, die wie Filigranarbeit zusammengesetzt sind. Ein Theil derselben leuchtet weiss und ein anderer farbig auf dem dunkelen Gesichtsfelde. Manche bestehen aus einem Hauptbalken, welcher der Länge nach dahingeht und an den die übrigen Bestandtheile des Kalknetzes, wie die Seitennerven an die Hauptrippe eines Blattes befestigt sind. Ich hatte solche Gebilde, die das Roth des Gypsgrundes für den Hauptstamm und alle in den verschiedensten Rich-

tungen verlaufenden Seitenzweige bei 0° und 90° wiedergaben, rothe, grüne und gelbe Färbungen bei + 45° und scharfe complementäre Farben bei — 45° zeigten. Die rundlichen Kalknetzmassen verhielten sich ähnlich, wie die der Synapten.

§. 279. Die Klappen der Pedicellarien der Seesterne zeigten sehr schöne farbige gebogene oder gezackte Streifen an ihren wahrscheinlich geschichtet abgesplitterten Grundtheilen. Die Erscheinung, dass die ganze gekrümmte Zacke bei 0° oder 90° ihrer Längsachse auf dem dunkelen Grunde unkenntlich wird, wiederholt sich auch hier, zum Beweise, dass die absolut geringe Ausdehnung des Gesichtsfeldes, den so kleine Gegenstände in Anspruch nehmen, die feinere Unterscheidung für unser Auge unmöglich macht.

§. 280. Die kleinsten und dünnsten Haken der Ranken von *Euryale* liefern häufig die lebhaftesten rothen, gelben und grünen Farbenfelder neben einander, wenn ihre Längsachse unter ± 45° steht. Viele der gesägten Stäbe aus den Mundtentakeln der Holothurien geben die rothe Farbe des Gypsgrundes trotz ihrer bogenförmigen Krümmung wieder, sowie ihre Tangentenebene unter 0° oder 90° steht.

§. 281. Man findet kleinste Stacheln des Seeigels, in denen ein Gerippe stärkerer longitudinaler und querer Kalkbalken von kleineren Kalkbalken in seinen Maschenräumen durchsetzt wird. Die ersteren haben ihre neutralen Richtungen längs der Achsen der stärkeren Kalkbalken und senkrecht darauf. Dasselbe wiederholt sich noch für etwas grössere Seeigelstacheln. Eine Reihe von Querschliffen der Stacheln von *Echinus esculentus* und *lividus*, sowie sehr schöne Präparate der Art von *Echinometra, Cidaris* und *Heliocidaris*, die ich der freundlichen Mittheilung von Carpenter verdanke, gaben nur geringe Ausbeute unter dem Polarisationsmikroskope. So leicht sich die Doppelbrechung nachweisen liess und so sehr die zierlichen strahligen Zeichnungen in dem dunkelen Gesichtsfelde leuchteten, so bemerkte ich doch keine regelmässigen

Schatten- oder Farbenvertheilungen, weil wahrscheinlich die Kalkbälkchen zu dick waren.

§. 282. Eine kleine Ambulacralplatte eines Seeigels zeigte ein dunkeles Kreuz, in dem zwei einander gegenüberstehende Arme divergirend begrenzt und sehr breit, die beiden anderen dagegen schmal waren. Man hatte eine Stellung, in welcher die zwei ersteren in der Richtung der Polarisationsebene des Analysators und die letzteren in der des Polarisators dahingingen. Drehte man jetzt das Präparat in seiner Ebene, so verschoben sich die Schattenfelder dergestalt, dass die breiteren Felder Zwischenstellungen entsprachen und noch zwei neue Schattenstreifen auftraten oder jene in der Polarisationsebene des Analysators dahingingen.

§. 283. Die Kalknetze der Bryozoen, z. B. der Flustren, liefern lebhafte Polarisationsfarben mit ungleichen Farbenvertheilungen, ohne dass die optischen Achsen derselben Richtung in allen gleichzeitig übersehbaren Bälkchen entsprächen. Die an ihnen befindlichen Stacheln besitzen ebenfalls starke Doppelbrechung.

IV. Kalkschalen und Perlmutt.

§. 284. Was die Foraminiferen betrifft, so zeigt *Rotalia* aus der Kreide von Meudon, dem Kreidemergel von Caltanisetta oder dem Kalke der Cava St. Giorgio ein schönes Polarisationskreuz in jeder ihrer rundlichen Abtheilungen. Sehr durchsichtige und gleichartige Stücke liefern sogar eine Reihe isochromatischer Ringe, wie eine auf der optischen Achse senkrecht geschliffene Kalkspathplatte, ohne dass man seine Zuflucht zu Convergenzlinsen zu nehmen brauchte. Man kann sie daher mit jedem guten gewöhnlichen Polarisationsmikroskope beobachten. Die Fig. 67 gegebene Zeichnung ist nach einem solchen entworfen. Sie bilden einen belehrenden Demonstrationsgegenstand für Vorlesungen. Glattere und grössere Exemplare zeigen leicht drei Ringe in weissem, wie in rothem Lichte, die dem Umkreise nahe liegen. Man kann deut-

Fig. 67.

lich sehen, wie der Abstand des ersten Ringes vom zweiten beträchtlicher, als der des zweiten vom dritten ist (§. 176).

Das Kreuz und die Ringe kehren auch in den Textularien wieder. Das Polarisationsmikroskop bildet überhaupt ein gutes Mittel, die Kalk- und die nicht krystallisirten Kieselschalen organischer Wesen in solchen Mischungen zu sondern.

§. 285. Die runden Stücke der Rotularien und der Textularien verrathen ihre verhältnissmässig negative Wirkung nach der Einschaltung eines Gyps- oder eines ¼ Glimmerblättchens. Die Anwesenheit der isochromatischen Ringe deutet auf den senkrechten Verlauf der optischen Achse, mithin auf einen wahrhaft negativen Charakter. Dieser stimmt auch mit der chemischen Zusammensetzung.

§. 286. Der kohlensauere Kalk kann, wie wir sahen (§. 265), sechsgliedrig als Kalkspath oder zwei- und zweigliedrig als Aragonit krystallisiren. Der erstere, der in ungefähr 30 verschiedenen Rhomboëdern und 50 Drei- und Dreikantern in der Natur vorkommt, ist optisch einachsig und der letztere, der meist in rhomboidalen Prismen oder in sechsseitigen Säulen auftritt und Zwillingsgestalten häufig darbietet, optisch zweiachsig. Bournon, Necker, Carpenter, Leydolt und G. Rose[1] suchten zu bestimmen, ob der kohlensauere Kalk, der in den Kalkschalen der Mollusken gefunden wird, dem Kalkspathe oder dem Aragonit entspricht. Die zwei zuletzt genannten Forscher gebrauchten hin und wieder das polarisirte Licht, vorzugsweise aber die Anätzung mit Säure, wobei dann die rhomboëdrische Form des Kalkspathes oder die rhombische des Aragonits unmittelbar oder an Hausenblasenabgüssen, die man unter dem Mikroskope untersucht, erkannt wird. G. Rose[2] fand, dass die äussere Lage der Schalen von *Pinna, Unio, Anodonta* aus Kalkspath und die innere aus Aragonit besteht. *Ostrea* dagegen und die Helixeier enthalten bloss Kalkspath. Die Gehäuse der Gasteropoden führen nach ihm nur

1. G. Rose, Abhandlungen der Berliner Akademie. 1858. Berlin 1859. 4. S. 63—75.
2. G. Rose, Ebendaselbst S. 71. 72.

Aragonit. Das Polarisationsmikroskop liefert theils bestätigende, zum Theil aber auch abweichende Anschauungen.

§. 287. Die beiden Schalen von Anodontaembryonen, die aus den Kiemen der Mutter genommen worden, geben ein schwarzes Kreuz, dessen längerer Arm der von dem spitzeren Schalenende ausgehenden Längsachse entspricht, und dessen Querarm von der Spitze entfernter liegt. Es hat überhaupt die Form und die Lage, die Fig. 68 darstellt. Die Einschaltung eines rothen Gypsblättchens erzeugt die lebhaftesten verhältnissmässig negativen gelben und blauen Färbungen. Die Hauptrichtung der optischen Achse geht vermuthlich in der Richtung der Dicke dahin. Die innersten, dem Aragonit entsprechenden Schichten mangeln noch auf dieser Entwickelungsstufe. Embryonen, die wahrscheinlich einer Paludinaart angehörten, zeigten im Anfange die Doppelbrechung nur vorzugsweise am Rande der Schale, lieferten aber später ein unregelmässiges dunkeles Kreuz und prachtvolle Farbenstreifen. *Cyclas lacustris* hat ein negatives Kreuz.

Fig. 68.

§. 288. Ein eigenthümliches Verhältniss zeigt sich an den Schalenpräparaten erwachsener Exemplare, z. B. von *Anodonta anatina*. Die äussere gelbbraune Lage scheint sich auf den ersten Blick zu Polarisationsuntersuchungen wenig zu eignen. Dünne Blätter geben kein Bild unter dem Wildschen oder dem Nörrenbergschen Polarisationsapparate ihrer Undurchsichtigkeit wegen. Die gleiche Ursache hindert es, durch die Absorption des Lichtes zu bestimmen, ob das Präparat ein- oder zweiachsig ist (§. 258). Das Ganze ändert sich aber, sowie man eine hinreichend dünne Platte unter starken Mikroskopvergrösserungen untersucht. Man sieht dann die polygonalen Zeichnungen, welche durch die von Carpenter[1] abgebildeten Kalkprismen erzeugt werden. Jede einzelne von ihnen zeigt in der günstigsten Azimuthalstellung ein dunkeles Kreuz, Fig. 69, wie eine senkrecht auf die Achse ge-

Fig. 69.

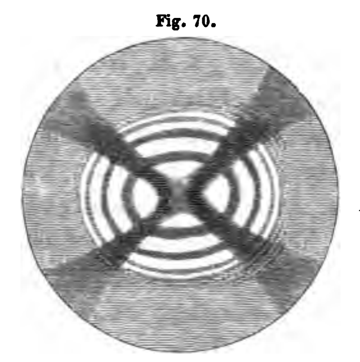
1. Carpenter, *Todd Cyclopaedia of Anatomy and Physiology*. Vol. IV. London 1852. 8. p. 558. Fig. 407. (*Pinna.*)

schnittene Kalkspathplatte. Es schwindet in der Regel oder wird undeutlich, wenn man das Präparat in seiner Ebene dreht, weil der nach Zufall geführte Schliff die optische Achse nicht gerade senkrecht zu durchschneiden pflegt. ¼ Glimmerblättchen liefert die zwei der negativen Beschaffenheit entsprechenden Punkte in jedem Polygone. Dünne Präparate lassen selbst isochromatische Ringe ohne und noch häufiger mit der Einschaltung von Convergenzlinsen (§. 162) erkennen. Sie sind zum Theil in Fig. 69 angedeutet.

Die inneren Aragonitlagen zeigen ein der äusseren Kalkspathmasse gerade entgegengesetztes Verhalten. Sie liefern keine Interferenzfiguren unter dem Polarisationsmikroskope, geben sie dagegen vollständig unter dem WILDschen oder NÖRRENBERGschen Apparate. Man sieht länglichrunde Curven mit Hyperbeln unter ±45° der Polarlinie und ein Kreuz unter 0° oder 90°.

§. 289. Halten wir uns an die irisirenden Perlmuttpräparate, so besitzt unsere Sammlung solche, welche die Polarisationsfiguren einachsiger Krystalle vollständig oder annähernd darbieten und in dem letzteren Falle Kreuz und Ringe zeigen, die in wenig abstehende Hyperbeln und Ovale bei ±45° übergehen. Sie stammen aus *Pinna nobilis*, *Turbo marmoratus*, *Trochus niloticus* und *Halyotis striata*. Andere aus *Meleagris margaritifera* und der Perle derselben, dem käuflichen Perlmutt, einem jungen und einem alten Exemplare von *Nautilus flammatus* liefern entschieden zweiachsige Bilder. Die Curven des letzteren Thieres sind Fig. 70 wiedergegeben worden.

Fig. 70.



§. 290. BREWSTER[1], der die Doppelbrechung im Perlmutt entdeckte, bestimmte den Achsenwinkel zu 11° 28′. Ich habe den äusseren Achsenwinkel zu 27° bis 28° in einer Perlmuttplatte bei

1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1818. p. 230.

einer ungefähren Messung gefunden. Der Aragonit besitzt 30° 50′ als äusseren und 17° 50′ als theoretischen und 18° 12′ als beobachteten inneren Achsenwinkel (für Gelb)[1]. Der Unterschied kann davon herrühren, dass sich die optischen Achsen der über einander liegenden mikroskopischen Blätter des Perlmuttes unter verschiedenen Winkeln schneiden und man daher hier die gleiche Abnahme des Achsenwinkels hat, wie bei einem Systeme von Glimmerblättchen, deren Achsen schief gegen einander gestellt worden (§. 256). Der scheinbare Achsenwinkel wechselt jedenfalls in Perlmuttplatten, die von verschiedenen Mollusken erhalten werden und die freilich auch nicht immer genau senkrecht auf die Mittellinie geschnitten sind.

§. 291. SOLEIL[2] schaltet einen zweiachsigen Krystall zwischen zwei rechtwinkelig gekreuzte ¼ Glimmerblättchen unter + 45° ein und dreht den Zerleger nach rechts. Die Ringe erweitern sich dann nach ihm in dem positiven Topas und dem positiven Schwerspath und verengern sich in anderen positiven Körpern, wie dem Diopsid und dem Gyps oder in negativen, wie dem Glimmer, dem Salpeter und dem Aragonit. Das Perlmutt verhält sich natürlich wie der letztere.

§. 292. CARPENTER[3] hat schon mit Recht bemerkt, dass die feinen Streifen, die das Irisiren des Perlmuttes durch Interferenz hervorrufen, keineswegs nur an der natürlichen Oberfläche vorkommen. Man kann die Erfahrung machen, dass Perlmuttpräparate aller Art die besten Polarisationsbilder liefern, wenn ihre Oberfläche bei dünnen Blättern stark irisirt und bei dickeren Platten in weissen und bläulichen Farben glänzt. Die Präparate mit matten Oberflächen dagegen, die in einer anderen Richtung als der der Irisation geschnitten sind, liefern gar keine Polarisationsfiguren

1. DES CLOIZEAUX, *Ann. des Mines. Cinquième Série.* Tome XI. 1857. p. 329. 330.
2. H. SOLEIL, Pogg. Ann. Bd. XCVII. 1856. S. 153. 54. Vgl. BILLET a. a. O. Tome II. p. 46.
3. CARPENTER a. a. O. p. 560.

oder geben sie höchstens in der Nachbarschaft abgesplitterter Kanten. Lebhaft schillernde Bruchstücke von einem halben Millimeter Länge und Breite reichen hin, die vollständigsten Bilder beider Pole mit den Ringen[1] in dem NÖRRENBERGschen Apparate zu geben. Eine Platte käuflichen Perlmuttes von ungefähr 8 Millimeter Länge und Breite zeigt in der Turmalinzange den einen Pol mit seiner Hyperbel und den Ringen, wie eine Glimmerplatte. Fig. 71 stellt dieses aus dem Perlmutt dar.

Fig. 71.



§. 293. Wagerechte Schliffe der Perlmuttmasse von *Trochus niloticus* lieferten in dem NÖRRENBERGschen Polarisationsapparate Kreuz und Ringe unter allen Azimuthen. $^1/_4$ Glimmerblättchen sowohl als Gypsblättchen wiesen die verhältnissmässig negative Wirkung nach. Ist sie, wie die Natur des Kalkspathes erwarten lässt, in der That negativ, so steht vermuthlich die optische Achse senkrecht auf der Schillerfläche. Die vergleichende Untersuchung in rothem oder in blauem Lichte führte zu keiner bedeutenden Vergrösserung der Zahl der Ringe, die in dem weissen Lichte bemerkt wurden. Die Präparate von *Turbo marmoratus* boten ebenso entschiedene Merkmale einachsiger Beschaffenheit dar. *Halyotis striata* zeigte nur den Unterschied, dass bisweilen die Ringe länglich und das Kreuz ungleich waren. Das Bild erinnerte an das einer schief gestellten Kalkspathplatte, die unter 70° oder 80° zur optischen Achse geschnitten worden. Manche Präparate der fossilen *Pinna nobilis* (aus der Tertiärformation in Piemont) erschienen einachsig und andere entschieden zweiachsig mit wechselnder Grösse des Achsenwinkels. Die verhältnissmässig negative Wirkung trat immer bei *Turbo*, *Pinna* und *Halyotis* deutlich hervor. Die Eigenthümlichkeiten von *Perna* sind §. 257 angegeben.

---

1. Die lemniscatenähnlichen Curven erwähnt auch BILLET a. a. O. Tome II. p. 39. Vgl. noch p. 538.

§. 294. Die durch Zwillingsbildungen herbeigeführte Verdoppelung der Polarisationsfiguren, die der Aragonit so häufig zeigt, mangelte in fünf, von mir untersuchten grösseren Platten käuflichen Perlmuttes. Die Farben des letzteren sind auch weit weniger lebhaft und das ganze Bild, wie milchig getrübt. Die rothen Achsen des Aragonits bilden einen kleineren Winkel, als die blauen[1]. Man kann sich durch ein violettes Ueberfangglas überzeugen, dass dasselbe für das Perlmutt wiederkehrt.

§. 295. Gute Präparate des letzteren zeigen in rothem Lichte mehr als 8 lemniscatenähnliche Ringe, deren Gestalt mit der des Aragonits im Allgemeinen stimmt. Die Perlmuttmassen der meisten oben genannten Muscheln dagegen geben in der Regel länglichrunde Curven. Einzelne Präparate aus *Meleagris margaritifera, Anodonta anatina, Nautilus flammatus* boten mehr als acht Ringe in rothem Lichte dar. Die eines Präparates von *Meleagris margaritifera* füllten das ganze Gesichtsfeld des NÖRRENBERGschen Polarisationsmikroskopes aus.

§. 296. Von der Oberfläche losgesprengte Splitter einer Doppelperle von *Meleagris* lieferten unter ± 45° sehr kleine regelmässige ovale Ringe mit Hyperbeln, die jedoch schon innerhalb des ersten Ringes aufhörten. Das bei 0° und 90° sehr scharf auftretende Kreuz hatte einen mindestens 3 bis 4 Mal so breiten Arm senkrecht auf der Verbindungslinie der Pole, als dieser entsprechend. Ein anderes ebenfalls convexes Präparat, das beiden durch eine Einschnürung getrennten Perlen angehörte, führte zu einem ähnlichen, jedoch etwas unregelmässigeren Bilde für jedes Perlenstück. Die Curven beider waren durch einen breiten, die Einschnürung enthaltenden Zwischenraum geschieden. Sechs von dieser Doppelperle herrührende Präparate stimmten darin überein, dass man ihre Polarisationsbilder in dem NÖRRENBERGschen Apparate weit deutlicher erkannte, nachdem man das Auge beträchtlich vom Zerleger entfernt hatte.

1. HERSCHEL, Vom Licht. S. 506. DOVE, Farbenlehre S. 247.

V. Stärkmehl der Gewächse.[1]

§. 297. Man untersucht am besten zuerst die Kartoffelstärke, deren Körner sich durch ihre Grösse und Einfachheit, wenn auch nicht immer durch die Regelmässigkeit der Form vor allen anderen Arten von Stärkmehlkörnern auszeichnen. Die Polarisationsbilder treten zwar schon nach der Befeuchtung mit Wasser mit grossem Nachdrucke auf. Sie gewinnen aber an Lebhaftigkeit, sowie man die Stärkekörner in Canadabalsam eingeschmolzen oder in Glycerin gebracht hat. Präparate letzterer Art können ebensogut Jahre lang aufbewahrt werden, als die ersteren, denen ich jedoch den Vorzug für alle Sorten von Stärkmehl geben muss. Die Körner verlieren in beiden Fällen beträchtlich an Wahrnehmbarkeit in gewöhnlichem Lichte (§. 236).

§. 298. Jedes Stärkmehlkorn der Kartoffel führt ein Kreuz, dessen Ausgangspunkt der sogenannte Nabel bildet. Die Form der Kreuzesarme hängt von der Schichtungsweise ab. Man sieht viele länglichrunde Körner, in denen sich die Arme von dem Mittelpunkte aus regelmässig herabsenken (Fig. 72 *abcd*), wie vier um je 90° wechselseitig abstehende Meridiankreise eines Erdglobus von einem der Pole aus. Sie werden häufig an einzelnen Stellen, die unregelmässigeren Schichtvertheilungen entsprechen, eingeknickt, zackig, verbreitert, matter, als dränge die dunkele Schattirung in die Tiefe und gehen nicht selten unter ungleichen Winkeln aus einander. Man findet Körner, die nur zwei und andere, die mehr als vier dunkele Linien in der bei der Beobachtung gegebenen Stellung darbieten. Der zweite Fall kommt bisweilen dadurch zu Stande, dass sich eine dunkele Linie schlingenförmig umgebogen hat. Mag man die Körner in Wasser, Terpentinöl oder Canadabalsam untersuchen, so verräth sich an vielen ein Theil der concentri-

---

1. ERLACH in Müllers Archiv. 1847. S. 321. EHRENBERG, Monatsberichte der Berliner Akademie. 1849. S. 56—60. H. MOHL, Botanische Zeitung. 1858. S. 11. 17. 374. 75.

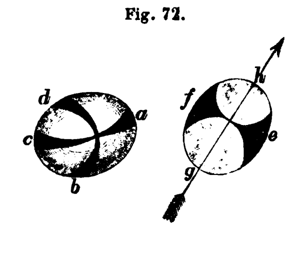
schen Schichtung durch schwarze regelmässige Bogenlinien, die wie Längenkreise eines Erdglobus herumgehen. Es kann vorkommen, dass sich eine oder mehrere von diesen durch ihre Breite auszeichnen und daher die Aehnlichkeit mit den Längen- und den Breitenbogen, in Verbindung mit den Kreuzesarmen vergrössern. Manche Körner zeigen schon ohne Weiteres bläuliche und besonders gelborange Färbungen, vorzugsweise in der Nähe des Randes.

Dreht man das Präparat in seiner Ebene und um die Achse des Mikroskopes, so dass diese den Durchschnittspunkt der Kreuzesarme durchsetzt, so ändert sich häufig die Polarisationsfigur in Folge der in Bezug auf die gesehene Oberfläche unsymmetrischen Schichtung. Gerade Arme können zackig und einzelne Stücke derselben undeutlich werden oder gänzlich schwinden.

§. 299. Nicht bloss die Kreuzesarme, sondern auch die erwähnten concentrischen Linien wiederholen die rothe Farbe des Gypsgrundes. Die letzteren gehen aber in allen möglichen Azimuthen dahin. Die Erscheinung lässt sich durch die Annahme erklären, dass eine sehr dünne Lage einer einfach oder wenig doppelt brechenden Masse zwischen den einzelnen Schichten vorhanden ist. Sie bleibt aber bei der Schmalheit der das Bild liefernden Theile immerhin zweifelhaft.

§. 300. Alle Stärkmehlkörner ohne Ausnahme und zwar nicht bloss der Kartoffel, sondern auch sämmtlicher später zu nennender Pflanzen zeigen eine verhältnissmässig positive Farbenänderung des rothen Grundes des Gypsblättchens, wenn sie überhaupt eine Kreuzfigur erkennen lassen. ¼ Glimmerblättchen bestätigt das Gleiche, wie *ef* Fig. 72 in Vergleich zu *abcd* zeigt. Der Pfeil *gh* deutet hier die Richtung der Achsenebene der verzögernden Platte an (§. 233). Es hängt von der Stellungsweise des Nabels und der Schichtungsart

Fig. 72.



ab, ob die beiden dunkelen Büschel schmal erscheinen oder sich nach dem Umkreise beträchtlich verbreitern, mit ihren inneren Spitzen zusammenstossen oder hier, der nächsten Nachbarschaft des Nabelpunktes entsprechend, durch eine helle Stelle getrennt sind. Diese Thatsachen lassen schliessen, dass die Stärkmehlkörner ihre optischen Achsen senkrecht oder radial haben, was für die reine Kugelform zusammenfiele (§. 233). Sie wären also unter dieser Voraussetzung wahrhaft positiv.

§. 301. Hat man einen Tropfen Jodtinctur zu dem die Stärkekörner enthaltenden Wasser gesetzt, so erscheinen die blauschwarzen zu undurchsichtig, als dass sich über ihre Polarisationsfiguren urtheilen liesse. Man findet aber an dem Grenzbezirke, wo sich die durch die Jodtinctur gelblich gefärbte Flüssigkeit und das Wasser berühren, heller blaue Körner, die das vollständige Polarisationsbild der frischen zeigen und wie diese nach der Einschaltung eines Gyps- oder ¼ Glimmerblättchens wirken. Das von Flückiger[1] als Begünstigungsmittel der Auflösung empfohlene Chlorcalcium vernichtet in kurzer Zeit das Polarisationskreuz der gequollenen Körner. Es kommt dabei vor, dass noch die eine Hälfte eines Kornes, das die Biscuitform angenommen, seine Doppelbrechung darbietet, während die andere sie schon verloren hat. Die Einschaltung eines Gypsblättchens lässt übrigens deutliche Farbenänderungen, also doppelte Strahlenbrechung an einzelnen Stellen gequollener und unregelmässig gewordener Körner erkennen, wenn selbst die Kartoffelschnitte 20 Stunden lang in einer Chlorcalciumlösung bei 8° bis 15° C. gelegen haben. Jod kann der Masse eine tiefblaue Farbe mittheilen, sie mag die Doppelbrechung schon verloren haben oder nicht.

§. 302. Kartoffelstücke, die mehr als 20 Stunden mit Menschenspeichel bei 8° bis 15° C. oder eine halbe Stunde bei 50° C.

1. A. Flückiger, Wittsteins Vierteljahrsschrift für prakt. Pharmacie. Bd. X. München 1861. 8. S. 40.

digerirt worden, enthielten Stärkmehlkörner, die alle Polarisationserscheinungen der frischen darboten. Dasselbe wiederholte sich für Körner der Pfeilwurz (*Arrow-Root*), die 5 bis 6 Stunden mit dem Wasserauszuge der Bauchspeicheldrüse einer Katze behandelt waren. Die Flüssigkeit enthielt noch in diesem Falle kugelige, leicht mit Stärkekörnern zu verwechselnde doppelt brechende Gebilde, die sich als Fettmassen durch die Auflösung in Aether erwiesen. Die geplatzten Hüllen der früher angeschwollenen Stärkmehlkörner lieferten keine deutliche Doppelbrechung in einzelnen und nur schwache Spuren in anderen Exemplaren. Zwischenformen geschwollener Körner änderten die Farben des Gypsgrundes, wie die frischen.

§. 303. Kocht man Kartoffelschnitte oder Arrow-Root, so behalten die schwellenden Körner im Anfange ihren positiven Charakter bei. Die Doppelbrechung nimmt bei weiterem Kochen ab und man hat zuletzt grosse runde Massen, die nur eine geringe und endlich keine merklichen doppelt brechenden Kräfte verrathen. Man muss sich übrigens vor einer Täuschung bei dem Gebrauche von Kartoffelschnitten hüten. Schabt man Stückchen derselben ab, so findet man längliche oder rundliche Gebilde, die mit Kleister gefüllt, an dem Umkreise auf ein Gypsblättchen negativ und nicht positiv wirken. Es sind dieses die Wände der Kartoffelzellen, die ihren ursprünglichen Charakter der Doppelbrechung nicht am Anfange des Kochens, sondern erst bei fortgesetzter Wirkung der Siedhitze einbüssen. Man sieht das Gleiche in Kartoffeln, die in der Küche zubereitet worden.

§. 304. Käufliche Stärke führte Körner, deren Kreuze sich nur schwach in Wasser und etwas stärker in Canadabalsam von der übrigen Masse abzeichneten. Der Nutzen der Einschaltung des Gypsblättchens macht sich hier nachdrücklich geltend. Man erkennt leicht die positiven Farbenfiguren mit den rothen Kreuzen in allen Stärkmehlkörnern, während die Polarisationsbilder auf schwarzem Grunde bei starken Vergrösserungen in einer weit geringeren, bei schwachen zwar in einer grösseren Menge von Stärk-

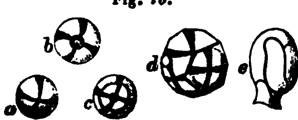
mehlkörnern, aber immer nicht in allen deutlich wahrgenommen werden.

§. 305. Zwei Proben käuflichen sogenannten Dextrins enthielten zahlreiche Körner, die das gewöhnliche Kreuz und die geschilderte Wirkung auf Gyps- und ¼ Glimmerblättchen lieferten. Man bemerkte dieses noch an vielen, die einen Spalt oder mehrere Einrisse darboten. Eines von ihnen zeigte vier Kreuzsysteme bei der Untersuchung in Canadabalsam. Die Hüllen oder die Bruchstücke entleerter Körner dagegen, die noch eine concentrische Streifung verriethen, gaben höchstens schwache, vorzüglich gelbliche Färbungen nach der Einschaltung eines Gypsblättchens. Viele Stellen wiederholten aber auch nur die rothe Farbe des Grundes. Die geringere Dextrinsorte führte weit mehr Stärkmehlkörner, als die aus Paris bezogene feinere, nach der die obige Beschreibung vorzugsweise entworfen worden. Eine Probe des sogenannten Rareyfutters der Pferde enthielt neben zahlreichen anderen doppelt brechenden Bestandtheilen kleine rundliche Stärkekörner, die das Kreuz und die positive Reaction gegen ¼ Glimmerblättchen darboten. Sie lagen meist haufenweise zusammengeklebt und verloren bald ihre doppelt brechenden Eigenschaften in der Siedhitze.

§. 306. Die Stärkmehlkörner der auf Java gepflanzten Sagopalme (*Saguerus Rumphii*) und nach ihnen die der feinen Javanischen Pfeilwurz oder des Arrow-Root von *Maranta indica*, hierauf die der besseren Sorten des käuflichen Pfeilwurzmehles, des Cassave oder des Amylon von *Manihot utilissima* boten zunächst die schärfsten Polarisationsfiguren dar. Erreichen sie auch nicht die Grösse der Kartoffelkörner, so zeichnen sich doch viele durch die Regelmässigkeit ihrer Form vor diesen aus. Zahlreiche eigenthümliche Gestalten von Stärkmehlkörnern finden sich in der (trockenen) Jalappewurzel. Die meisten besitzen eine verhältnissmässig bedeutende Grösse. Viele von ihnen zeigen ein Kreuz, dessen Arme sich, wie gewöhnlich, im Nabel durchschneiden, *a* Fig. 73. Andere haben um diesen einen schwarzen Ring, *b* Fig. 73,

oder eine schwarze dreieckige oder kreisförmige, wahrscheinlich einer grubenartigen Vertiefung entsprechende Scheibe, *c* Fig. 73, von der die Kreuzesarme ausgehen. Sie bleibt unverändert, wenn man den Zerleger 90⁰ dreht und sich dann die dunkelen Kreuzesarme um 45⁰ verrücken und matter schwarz oder gelblich werden. Man erkennt ebensowenig einen Wechsel derselben nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, das sonst die gewöhnlichen Farbenänderungen in dem übrigen Korne hervorruft. Viele der trockenen Stärkmehlkörner sind aus einer Reihe einzelner zusammengeballt und liefern daher eine Anzahl Kreuz- und anderer Figuren, die häufig so regelmässig vertheilt sind, dass die schwarze Linienzeichnung an diejenigen der für das Kugelspiel gebrauchten polyedrischen Holzkugeln erinnert. Fig. 73 *d* stellt ein solches zusammengesetztes Korn dar. Dieser Umstand hat eine leicht irre führende Erscheinung zur Folge. Schaltet man ein Gypsblättchen ein, so erhält man hier eine positive Wirkung, wie in anderen Fällen. Manche Kugelabtheilungen liegen aber so combinirt, dass man die entgegengesetzte Farbenvertheilung an einzelnen Stellen zu bemerken glaubt oder grüne Mitteltöne hervorgerufen werden. Man erkennt zwar diese zusammengeballten Körner schon in dem gewöhnlichen Lichte. Das polarisirte zerlegt sie aber schärfer in ihre Bestandtheile, so dass diese mit Leichtigkeit bemerkt werden. Andere Körner endlich bieten unregelmässige äussere Formen und zusammengesetzte schwarze Linien dar. Fig. 73 *e* zeigt ein Beispiel der Art.

Fig. 73.



§. 307. Schöne Kreuzgestalten liefern noch die Stärkekörner in dem Blattstiele von *Musa paradisiaca*, dem Rhizom von *Iris florentina*, der *Radix Mechoacannae* und dem Knollenstocke von *Colchicum autumnale*. Die trockene Mechoacannawurzel führt grosse rundliche, meist einfache, bisweilen aber auch zusammengeballte Körner, die das gewöhnliche Kreuz und nicht selten einen den Nabel umgebenden schwarzen Ring zeigen. Der ebenfalls trockene Knollenstock der Herbstzeitlose enthielt tetraëdrische oder andere Verschmelzungsformen, die drei oder mehr Kreuz-

systeme neben und zum Theil über einander darboten, von denen jedes die gewöhnlichen Veränderungen durch ein Gyps- oder ¼ Glimmerblättchen erlitt.

§. 308. Die französische Rhabarber führte zum Theil ähnliche zusammengeballte Körner. Diese erschienen dagegen sparsamer in einer Probe chinesischer Rhabarber, die überhaupt minder günstige Polarisationsbilder lieferte. Das Gleiche wiederholte sich in noch höherem Grade für die kleinen tetraëdrischen und stabförmigen Körner der Wurzel von *Rumex alpinus* und für die runden oder länglichen des Mehles von *Aspidium filix mas*, von denen die meisten gar keine regelmässigen Figuren und keine symmetrischen Farbenvertheilungen nach der Einschaltung eines Gypsblättchens erkennen liessen. Die rundlichen Stärkekörner von *Epiphyllum truncatum* verhielten sich in jeder Hinsicht wie gewöhnlich. Die häufig vorkommenden keulen- oder pilzförmigen dagegen hatten theils Figuren, wie einfache oder zusammengesetzte Körner, theils aber auch ausgedehnte mehrfarbige Flecke oder eintönige Färbungen an der ganzen Oberfläche.

§. 309. Schöne Polarisationskreuze fanden sich noch in den Smilaxarten. Dieses zeigte sich schon an den vereinzelten Körnern der Chinawurzel, vorzugsweise aber an den reihenweise gestellten der Sarsaparille. Hat man die Stärkekörner der letzteren durch Abschaben gesondert, so liefern vor Allem die tetraëdrischen und die verschmolzenen die zierlichsten Bilder nach der Einschaltung eines Gypsblättchens.

§. 310. Die länglichen Stärkmehlkörner der Galanga (*Alpinia*) mit ihren langen Kreuzesarmen reihen sich unmittelbar an die letzteren. Die von *Curcuma Zedoaria* dagegen stehen ihnen nach. Sind die kleinen länglichen von *Zingiber officinale* passend gelagert, so bemerkt man in ihnen ein scharfes Kreuz mit Armen, die der Länge nach dahingehen. Man sieht natürlich ähnliche Formen in allen Stärkmehlkörnern von der Kartoffel bis zum Ingwer, wenn der Nabel an dem einen Ende oder in dessen Nähe liegt.

§. 311. Die Untersuchung in blossem Wasser oder mit nicht ganz guten Polarisationsinstrumenten hat manche irrthümliche Angaben herbeigeführt. Die Anwesenheit der Kreuze wurde für viele der oben angeführten Stärkmehlarten mit Unrecht geläugnet. Man hat auch die Kreuzesarme von Körnern, die ihren Nabel an dem einen Ende führen, für Streifen angesehen und als eigene Erscheinung sondern zu müssen geglaubt.

VI. Zellen und Gefässe der Pflanzen.[1]

§. 312. Pilze der Bierhefe, die seit ungefähr vier Jahren in Glycerin aufbewahrt worden, glänzten ziemlich lebhaft auf dem dunkelen Grunde, wenn man selbst alles Seitenlicht mit der Deckröhre (§. 235) abgehalten hatte. Ein Gypsblättchen lieferte nur zweifelhafte Farbenveränderungen. Ein solches von Roth zweiter Ordnung brachte noch am ehesten ein schwaches Blau zum Vorschein. Frische Schimmel, die sich auf einer zur Aufbewahrung eines Menschenhirnes dienenden Chromsäurelösung entwickelt hatten und aus kleinen länglichen vereinzelten oder rosenkranzförmig zusammengehäuften Körperchen bestanden, glänzten wie silberweisse Sterne auf dem dunkelen Gesichtsfelde und änderten den rothen Grund des Gypsblättchens in lebhaftes Blau um. Andere nebenbei vorhandene Bündel cylindrischer Fäden verriethen eine weit schwächere Doppelbrechung.

§. 313. Der in Tannin-Glycerin aufbewahrte Favuspilz (das sogenannte *Achorion Schönleinii*) hatte minder starke, aber immer noch deutliche doppelt brechende Kräfte. Die farblosen Körner verwandelten das Roth des Gypsgrundes in nicht sehr starkes Gelb. Ein Glycerinpräparat des *Trichophyton tonsurans* erwies sich ebenfalls als doppelt brechend. Die Fäden von *Eunotia herbariorum* und *Aspergillus glaucus* verriethen schwache Doppelbrechung. Die durchsichtigeren Exemplare bläuten deutlich die rothe Gyps-

1. Erlach a. a. O. S. 318—22. Ehrenberg a. a. O. 1848. S. 244. 1849. S. 70—73. Schacht a. a. O. S. 428—35. Mohl a. a. O. S. 1—6. 9—18. 373—75.

farbe. Die Fäden einer nicht näher bestimmten Art von *Botrytis*, die sich auf Macerationswasser erzeugt hatten, und die einer Schimmelbildung, die auf der Fusshaut eines lebenden Frosches entstanden waren, gaben nur zweifelhafte Spuren, die eines aus Dresden stammenden Schimmelpapieres dagegen deutliche Zeichen von Doppelbrechung. Die letzteren wurden blau, wenn ihre Längsachse der Achsenebene des Gypsblättchens parallel stand und gelb, wenn sie diese rechtwinkelig kreuzte. Die trockenen Sporen und die sie einschliessenden Mutterzellen der Trüffel glänzten an ihren Rändern auf dem dunkelen Gesichtsfelde.

§. 314. Die in Canadabalsam eingeschmolzenen rothen Kugeln von *Protococcus nivalis*, die ich vor fünf Jahren am Rhone- und am Gornergletscher gesammelt hatte, leuchteten nicht auf dem schwarzen Grunde. Diejenigen, welche durch die Aufbewahrung in Glycerin grün geworden waren und den Kern zeigten, färbten nur den rothen Grund eines Gypsblättchens zweiter oder dritter Ordnung gelborange, gaben also bloss die Mischfarbe und keine die Doppelbrechung verrathende Farbenänderung. Das Gleiche wiederholte sich für die Sporenmassen und die grünen Spiralbänder von *Spirogyra quinina*, den grünen Inhalt von *Ulothrix zonata*, die ebenso gefärbten Massen in den cylindrischen Zellen, den keulenförmigen Endgliedern und den Schwärmsporen von *Vaucheria clavata*, endlich in einer nicht näher bestimmten *Chaetophora*, nachdem alle diese Algen in einer Lösung von Chlorcalcium seit mehreren Jahren aufbewahrt worden.

§. 315. Die Inhaltsmassen und in schwächerem Grade die Zellenwände von *Bangia atropurpurea*, ebenfalls in Chlorcalciumlösung eingeschlossen, leuchteten ziemlich stark auf dem dunkelen Grunde. Die in Chlorcalciumflüssigkeit befindlichen Wände der Zellen und der Antheridien von *Nitella syncarpa* zeigten einen Glanz, wie ich ihn bei keiner der früher genannten Algen bemerkt habe. Hatte man die gegliederten Fäden der Antheridien aus ihrer Kapsel entfernt, so erschien auch ihr Inhalt in weissem Lichte.

§. 316. Die queren Zwischenwände, welche zwei benachbarte Zellen der erwähnten *Spirogyra* trennen, liessen die Farbe des Gypsgrundes zu Blau steigen, wenn sie parallel der Achsenebene gelagert waren. Die auf ihnen senkrechten Seitenwände erniedrigten das Roth zu Gelb. Drehte man das Ganze um 90°, so zeigte sich ein scharf ausgesprochenes Gelb für die Zwischenwand. Die ganze Fläche der Seitenwand wurde grün, die in ihrer Mischfarbe gelben (ursprünglich grünen) Bänder des Inhaltes schimmerten durch sie hindurch. Die letztere Färbung änderte sich natürlich nicht bei der Einstellung 0° und 90°. Die Seiten- und die Zwischenwände gaben aber dann die rothe Farbe des Gypsgrundes wieder. Hieraus folgt, dass die neutralen Richtungen der Länge und der Quere noch dahin gehen, die Zwischenwände sich ebenso, wie die Seitenwände verhalten, wenn man sich die eine oder die andere um 90° gedreht denkt und beide positiv in Bezug auf die Längen- oder negativ in Beziehung auf die quere Richtung, wenigstens in meinen seit Jahren in Chlorcalcium aufbewahrten Präparaten wirkten.

Die Kapsel eines Antheridiums von Nitella zeigte sich relativ negativ gegen ein Gyps- und ein $^1/_4$ Glimmerblättchen.

§. 317. Orientirte man einen Spaltungszweig eines trockenen *Ceramium nodosum* so, dass der eine Ast unter + 45° und der andere unter — 45° stand und schaltete die Achsenebene des Gypsblättchens unter + 45° ein, so erschien der Ast + 45° prachtvoll blau und der — 45° lichtstark gelb, soweit man durch ihre Längsflächen sah. Die Gelenkknoten dagegen gaben die rothe Farbe des Grundes wieder. Die glasartig durchsichtigen Wände von *Callithamnion pedicellatum* verhielten sich wie die von Ceramium.

§. 318. Ein Gypsblättchen von Roth zweiter Ordnung verrieth nachdrücklich die Doppelbrechung des Parenchyms von *Parmelia ciliaris*. Das dunkele Gesichtsfeld liess es übrigens schon in mattem Silberglanze bei ± 45° der der Oberfläche der Flechte parallelen Richtung erscheinen. Kryställchen wurden hier nicht bemerkt.

§. 319. Die durchsichtigeren unteren Abschnitte der Stiele der Paraphysen der Antheridien von *Mnium punctatum* und die einfachen Blatthaare von *Marchantia conica* nehmen eine deutlich blaurothe Farbe unter dem Einflusse eines Gypsblättchens an, wenn ihre Längsachse parallel der Achsenebene des Gypses steht. Sie werden bei senkrechter Kreuzung ausgesprochener gelb. Man hat also wieder die neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach und die verhältnissmässig positive Wirkung. Die getrockneten Zähne des Peristomes von *Dicranum scoparium* gewährten insofern ein sehr zierliches Bild, als sie mit ihrer Längsachse parallel der unter 45° geneigten Achsenebene des Gypsblättchens eingestellt, die Glieder selbst smaragdgrün und die sie trennenden Zwischenwände glänzend goldgelb zeigten. Die letzteren wurden braunroth und die ersteren goldgelb bei senkrechter Kreuzung.

§. 320. Das durch concentrirte Schwefelsäure dargestellte Kieselskelet der Oberhaut des Schachthalmes (*Equisetum thalmateja*) bildet einen der Gegenstände, welche die mannigfachsten Polarisationsfarben neben einander darbieten. Steht die Längsachse unter ± 45° zur Achsenebene des Gypsblättchens, so werden die Spaltöffnungen von schiefen und abwechselnd blauen und gelben Bändern, die parallel und senkrecht zur Achsenebene des Gypses dahingehen, durchsetzt, während rothe und gelbe Zwischenbänder in dem Azimuthe 0° oder 90° verlaufen.

§. 321. Die von organischen Stoffen durch Glühen befreiten Kieselhaare der Blätter der *Deutzia* bestehen aus Sternzellen,

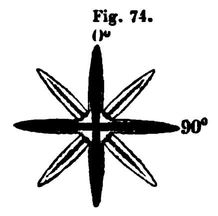


Fig. 74.

Fig. 74, oder einem rundlichen Mittelkörper, von dem Strahlen nach allen Seiten ausgehen. Beide tragen feine Spitzen an ihrer Oberfläche, die durch die gezackten Linien in Fig. 74 angedeutet worden. Der Körper zeigt oft ein rundliches Gebilde in seinem Inneren. Man gibt die Zahl der Strahlen auf 4 bis 15 an. 31 Zählungen, die ich an einem Präparate machte, lieferten einen Fall von 3, 4 Fälle von 4, 2 von 5, 1 von 6, 2 von 7, 5 von 8, 3 von 9, 2 von 10, 10 von 11 und 1 von 12 Strahlen.

Orientirt man ein regelmässig vierstrahliges Exemplar dergestalt, dass seine Strahlenäste unter $\pm 45^0$ dahingehen, so glänzen diese in lebhaft weissem Lichte, vorzugsweise an ihren Rändern. Der Mittelkörper zeigt ein schwarzes Kreuz mit oder ohne rundlichen Fleck in der Mitte. Da die Kreuzesarme einer senkrecht auf die optische Achse geschliffenen Quarzplatte innerhalb des ersten Ringes ebenfalls auftreten, wenn diese dünn genug ist (§. 185), so würde jenes mikroskopische Bild gegen die Analogie mit einer solchen Platte nicht zeugen. Dreht man aber den Zerleger im Sinne der Rotation des Quarzes, so werden die innersten, einander im Mittelpunkte durchkreuzenden Bezirke der Kreuzarme gelb und die äusseren Enden blau. Die Erscheinung fehlt bei der entgegengesetzten Drehungsrichtung. Das Kreuz des Mittelkörpers der *Deutzia* zeigt nichts Aehnliches. Arbeitet man in rothem Lichte, so verwandelt sich das bis zum Mittelpunkte reichende Kreuz der dünnen Quarzplatte in zwei Punkte, deren Achsenrichtung auf der des $1/4$ Glimmerblättchens senkrecht steht, man mag circular polarisiren oder analysiren (§. 221). Die gleiche Prüfung macht die zwei Strahlen der vierstrahligen Sternzelle, die auf der Achsenrichtung senkrecht stehen, in weissem wie in rothem Lichte dunkel, die beiden ihr parallelen hell und ebenso den Mittelkörper bis auf einen matten, in ersterer Richtung dahingehenden Schattenstreifen. Das Kreuz der Quarzplatte ändert sich natürlich nicht bei allen Drehungen in ihrer Ebene. Stellt man dagegen die Strahlen unter 0^0 oder 90^0 ein, so werden sie grösstentheils dunkel. Der Mittelkörper enthält kein Kreuz mehr, sondern die dunkelen 0^0 und 90^0 entsprechenden Strahlen verbinden sich durch dunkele Bogenlinien, deren nicht transversale Achse, wenn wir jene mit Hyperbeln vergleichen, unter $+ 45^0$ dahingeht. Der übrige Zellenkörper ist hell mit Ausnahme einzelner Schattenflecke. Schaltet man ein Gypsblättchen bei dieser Lage ein, so wiederholt ein Theil der Strahlen die rothe Farbe des Grundes, während ein anderer gelb erscheint. Orientirt man sie unter $+ 45^0$, so werden die zwei der Achsenebene des Gypses parallelen Strahlen blau, die auf ihr senkrechten gelb und an einzelnen Stellen roth punktirt. Der Mittelkörper, vorzugsweise sein rundliches Gebilde zeigt viele rothe

Punkte auf gelbem Grunde. Man stösst daher hier auf weit verwickeltere Verhältnisse, als in einer Quarzplatte.

Der Mittelkörper mancher vierstrahliger Formen zeigt schon unregelmässige Schattenfiguren. Die dreistrahligen, wie die mehr als vierstrahligen, geben meist verschieden gestaltete dunkele Centralflecke mit einzelnen auftauchenden Linien. Die Sterne glänzen mehr oder minder auf dem dunkelen Grunde und verhalten sich zu einem Gypsblättchen positiv in Bezug auf ihre Längsachse. Ebenso werden alle Strahlen, die der Achsenebene eines $^1/_4$ Glimmerblättchens parallel gehen, hell und die auf ihr senkrechten dunkel, während die der Halbirungslinie entsprechenden die matte Grundfarbe wiedergeben. Doch kommen auch regelmässigere, z. B. achtstrahlige Haare vor, die ein Kreuz, wie es Fig. 74 zeigt, darbieten.

§. 322. Mohl[1] hat schon bemerkt, dass alle im Inneren der Pflanzen befindlichen Zellen und Gefässe verhältnissmässig negativ, die Cuticula der Oberhaut dagegen und die Zellhaut des Periderms relativ positiv sind. Gewöhnliche Baumwolle hat die letztere und Schiessbaumwolle die erstere Wirkungsweise. Dieser Unterschied bestätigte sich auch in meinen noch anzuführenden, die Pflanzengewebe betreffenden Untersuchungen, soweit ich die entsprechenden Gegenstände zu prüfen Gelegenheit hatte.

§. 323. Ein feiner Querschnitt steifer, aber nicht sehr verdickter oder verholzter Zellen einer Kryptogame oder Phanerogame erscheint auf dem dunkelen Gesichtsfelde, wie ein lückenhaftes Strickwerk, weil diejenigen Wandtheile, die 0^0 oder 90^0 entsprechen, in der geringsten und die, welche unter $\pm 45^0$ verlaufen, in der grössten Lichtstärke erblickt werden. Die übrigen Abschnitte liefern Zwischengrade der Helligkeit, die dem Malusschen Cosinusgesetze (§. 25) entsprechen. Man kann hieraus schliessen, dass die neutralen Richtungen längs der Fläche und der Dicke der Zellenwand dahingehen. Es hängt natürlich unter diesen Verhältnissen von der Form und der Einstellung der Zellen ab, wie viel von

1. Mohl a. a. O. S. 11.

ihnen dem Anblicke verloren geht. Ein feiner Querschnitt des Stengels der Balsamine z. B. zeigt ziemlich regelmässige sechsseitige Zellen, zwischen denen hin und wieder fast genau rechteckige liegen. Ihre starke Doppelbrechung bedingt es, dass man sie auf dem dunkelen Grunde des Polarisationsmikroskopes schärfer, als in dem gewöhnlichen Mikroskope sieht. Die sechsseitigen Zellen lassen sich natürlich nur so einstellen, dass zwei einander gegenüberstehende Wände in der geringsten und die vier übrigen im günstigsten Falle in der grössten Lichtstärke erscheinen. Man kann dagegen die rechteckigen so orientiren, dass sie in ihrer ganzen Ausdehnung dunkel oder hell werden.

§. 324. Ein passender Längsschnitt dünnwandiger Pflanzenzellen zeigt die gleichen Erscheinungen, wie ein Querschnitt. Halten wir uns daher nur an die drei unter einander rechtwinkeligen Hauptrichtungen, so liefert uns dieses den Schlüssel, diejenige von ihnen anzugeben, die der optischen Achse genau oder annähernd entspricht. Dreht man eine quer durchschnittene nicht dicke Zellenwand in ihrer Ebene herum, so findet man, dass sie bei der Einstellung ihres Längendurchmessers unter $\pm 45^0$ ihrer ganzen Länge nach ununterbrochen hell erscheint. Hieraus folgt, dass die optische Achse nicht senkrecht dahingehen kann. Ganz der gleiche Versuch gelingt aber mit einer dünnwandigen Zellenwand des Längsschnittes. Es ergibt sich daher, dass die optische Achse nicht in der tangentiellen Hauptrichtung verläuft. Die radiale, die allein übrig bleibt, erklärt das Dunkelwerden unter 0^0 und 90^0 bei Quer- und Längsschnitt und die ununterbrochene Helligkeit bei $\pm 45^0$. Diese Beobachtungsweise ist aber noch nicht fein genug, um mit Sicherheit schliessen zu lassen, ob die wirkliche optische Achsenrichtung mit der radialen Hauptrichtung zusammenfällt oder sie unter einem kleinen Winkel schneidet (§. 232).

§. 325. Die mit einem Gypsblättchen angestellte Prüfung ergab die in Bezug auf die Dicke negative Wirkung der Zellenwände für die dickwandigen Zellen von *Nitella syncarpa* und die von *Spirogyra quinina* in Chlorcalcium, die trockenen von *Callitham-*

nion pedicellatum und ***Ceramium nodosum***, die Blattzellen von ***Mnium punctatum*** und ***Marchantia conica***, die trockenen Stengelzellen von ***Pteris aquilina***, ***Equisetum thalmateja***, ***Chamaerops humilis***, ***Cycas revoluta***, ***Impatiens Balsamine***, der Rosskastanie, der ächten Kastanie, der Pappelrose, der Akazie, der Weinrebe, die Zellen des Hollundermarkes, der Nadeln von ***Abies pectinata***, die in Canadabalsam aufbewahrten Zellen der Wurzel der Meerzwiebel, der ***Iris florentina***, der Mechoacannawurzel, des Parenchyms des Apfels und der Kartoffel, des Stammes der Fichte, des Inneren der Galläpfel, der braunen Aussenschicht des Dattelkernes, endlich die frischen Zellen der ***Spirogyra***, der Kartoffel, des Apfels, des Schaftes von ***Musa paradisiaca***, des Stammes von ***Echinopsis cereus***, ***Cereus spinosus***, ***Cereus peruvianus***, ***Aloë picta***, ***Hackea cornea***, ***Epiphyllum truncatum***, ***Crassula alba*** und ***Mesembryanthemum roseum***. Die Wände dieser Zellen werden wahrhaft negativ sein, wenn die optische Achse radial dahingeht und daher die Farbe des Gypsgrundes bei vollkommen senkrechter Achsenstellung wiederholt wird.

§. 326. Schabt man eine geringe Menge der weichen Masse eines durchschnittenen Apfels los, so findet man in ihr einzelne vollkommen gesonderte Zellen neben vielen zusammenhängenden. Man kann die für die Vogelperspective flächenhaft ausgebreiteten Wände deutlich erkennen. Die meisten dieser Flächen zeigen gelbe oder blaue Flecke nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, weil sie nicht eben, sondern gefaltet verlaufen und theilweise eingesunken sind. Ich besitze aber in Canadabalsam eingeschlossene Präparate der Art, in denen Zellen vorkommen, die zwei gelbe schmale Seitenwände, der verhältnissmässig negativen Wirkung entsprechend und zwei blaue senkrecht darauf zeigen. Ihre ganze der Oberfläche des Objectglases parallele Zellenfläche dagegen wiederholt die rothe Farbe des Grundes oder ist nur schwach gelblich oder bläulich gefärbt. Die harten Zellen der Galläpfel zeigen das Gleiche, obwohl weniger scharf. Ihre blauen und gelben Bänder sind schmäler. Ganze Zellenflächen oder Bruchstücke derselben erscheinen rein roth oder mit blauen oder gelben Tinten gemischt,

je nachdem sich ihre Wandstücke wagerecht oder schief darstellen. Dieses Alles spricht für die radiale Hauptrichtung der optischen Achse und die wahrhaft negative Beschaffenheit der Zellenwände. Die grosse Dünne hindert aber das Auftreten des Polarisationskreuzes.

§. 327. Das pflanzliche Elfenbein oder das Eiweiss von *Phytelephas macrocarpa* Endl. enthält dicht neben einander stehende, im Querschnitte sechsseitige Zellen mit sehr starken Verdickungen, so dass die Innenhöhle weniger als die Hälfte des Gesammtdurchmessers anszumachen pflegt. Hat man einen feinen Querschnitt dieser Zellen in Canadabalsam eingeschlossen, so geben die dickeren Stellen ohne Weiteres farbige Bilder, die leicht verwirren. Man muss daher sehr dünne Bezirke, wie sie am ehesten in der Nähe des Randes vorkommen, für die erste Untersuchung auswählen.

Einzelne Zellen zeigen ein fast vollkommenes, mit rechtwinkelig auseinander gehenden Armen versehenes und durch die Zellenhöhle unterbrochenes Polarisationskreuz, das sich oft nach dem Umkreise hin verbreitert und sich nur wenig bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene ändert. Manche haben einen oder mehrere Arme so gestellt, dass ihre Verlängerung die der übrigen schiefwinkelig schneiden würde. Noch andere besitzen einzelne accessorische Linien, die bisweilen an Breite, Richtung und Deutlichkeit in den verschiedenen Azimuthen wechseln. Man muss jedoch diese von den ebenfalls dunkel erscheinenden Zellenbegrenzungen wohl unterscheiden. Die durchsichtigen Zwischenräume zwischen sechs Zellen zeigen bisweilen eine Stelle, an der man ein kleines dunkeles Kreuz bemerkt. Dieses rührt entweder von kleineren Einschaltungszellen oder von der aus der Vogelperspective gesehenen Umgebung eines Porencanales her. Es kommt auch vor, dass zwei solche dicht beisammen stehende Gebilde zwischen sechs Zellen bemerkt werden. Ein Paar symmetrisch gelagerter, durch dunkele Linien begrenzter Stellen, von denen jede einer Zelle angehört und auf einem hellen Porencanal derselben senkrecht zu stehen scheint, findet sich häufig dicht an den primären Zellenwän-

den zweier benachbarter Zellen. Sie sind wahrscheinlich Lückentrichter der Porencanäle.

Die gefärbt erscheinenden Zellen zeigen schmutzig orangegelbe, blaue und gelbe oder nur blaue Töne. Diese treten bloss stellenweise auf oder verbreiten sich über die ganze Fläche, so dass sie nur von dem dunkelen Kreuze unterbrochen werden. Die Farbenfelder benachbarter Zellen sind dann durch helle weisse bis orangegelbe Zwischenlinien gesondert.

Die dünnsten früher nicht gefärbten Zellen wirken verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen. Der rothe Grund scheint dabei durch die Zellenhöhle, die Kreuzfigur und die die Zellen trennenden Zwischenlinien durch. Dickere, schon auf dem dunkelen Gesichtsfelde farbige Felder liefern Mischfarben, die oft verschiedene Nuancen in demselben Quadranten darbieten. Nimmt man eine Zelle, die früher nur blaue Felder hatte, so sind jetzt die, deren Achse parallel zur Achsenebene des Gypses dabingeht, lila und die zu ihnen senkrechten heller blau. Es kann vorkommen, dass ein Porencanal jedes Farbenfeld theilt, so dass das Ganze eine farbige Fächerfigur, wie man sie bisweilen im Kaleidoskop sieht, liefert.

$^1/_4$ Glimmerblättchen gibt ebenfalls eine verhältnissmässig negative Wirkung. Die circulare Analyse des circular polarisirten Lichtes entwickelt Farben, wenn sie früher auf dem dunkelen Grunde mangelten und zwar gelbe senkrecht auf der Achsenebene des Glimmers stehende Streifen in den dünnsten Zellenschnitten.

Betrachtet man eine Stelle, an der zwei Porencanäle zweier benachbarter Zellen zusammenstossen, so sieht man, dass die hier doppelt vorhandene primäre Zellhaut unter dem Einflusse eines Gypsblättchens ebenfalls verhältnissmässig negativ wirkt. Sie hat also denselben relativen Charakter, wie die secundären Verdickungsschichten.

§. 328. Die Untersuchung mit dem freien Auge oder besser mit der Loupe lehrt, dass das Eiweiss von *Phytelephas* aus concentrischen Lagen besteht. Macht man einen Schnitt in der Richtung der Tangentenebene einer solchen Schicht, so erhält man die eben beschriebenen Querschnitte der Zellen. Führt man dagegen den

Schnitt radial, so bekommt man die Zellen der Länge nach. Diese zweite Art von Präparaten gibt zunächst über die eine Art der nur sparsam in den Querschnitten bemerkbaren kleineren Kreuze Aufschluss. Der Längsschnitt zeigt nämlich die Porencanäle in zweierlei Formen. Diejenigen, welche der Oberfläche des Schnittes nahezu parallel gehen, erscheinen aus der Vogelperspective in der Seitenansicht und bilden daher lange und schmale, an ihren Enden trichterförmig erweiterte Hohlcylinder, die, von den Innenräumen zweier benachbarten Zellen in derselben Richtung ausgehend, einander begegnen, jedoch durch einen schmalen Zwischenraum getrennt werden. Die Lückentrichter zeichnen sich auch, wie wir sahen, auf manchen Querschnitten scharf ab. Diese in den Seitenwänden dahingehenden, längs ihrer Längenachse erblickten Porencanäle geben natürlich keine Kreuze. Die Porencanäle, die senkrecht auf der Schnittfläche verlaufen, zeigen nur den Lumenquerschnitt als kleinen Ring von der Vogelperspective aus. Ihre Umgebung liefert das kleine zierliche Kreuz, von dem schon bei dem Querschnitte die Rede war. Man findet sie im Längsschnitte massenweise und zwar in Längsreihen, obgleich häufig nicht geradlinigt geordnet. Steht die Längsachse der Zellen unter 0^0 oder 90^0, so treten sie lebhafter gefärbt hervor und ihre Zwischenfelder erscheinen heller, als wenn sich jene unter $\pm 45^0$ befindet. Die Zellenwände sind in dem ersteren Falle dunkel oder nur an einzelnen Stellen matt weiss. Sie leuchten in dem letzteren überall silberweiss, werden dann parallel der Achsenebene des rothen Gypses blau und senkrecht auf ihr gelb. Die Zellenhöhle nebst der sie deckenden oberen und unteren Zellenwand erscheinen dabei roth oder orangegelb und gelb an einzelnen dickeren Stellen. Alle diese Farbenvertheilungen machen es wahrscheinlich, dass auch hier die optische Achse der radialen Hauptrichtung folgt und die verdickten Zellen wahrhaft negativ sind.

§. 329. Geht man von dieser Annahme aus, so sind die Kreuze, welche die Zellen des Querschnittes zeigen, Kreuze dritter Ordnung (§. 229). Das Kreuz der Umgebung der Porencanäle dagegen bildet ein Kreuz erster Ordnung, weil es von der Dicke der oberen

Wand der Zelle herrührt, folglich hier die (radiale) optische Achse nahezu senkrecht hinabgeht. Die scheibenförmige Begrenzung ihrer Felder deutet vielleicht eine mit dem Lückentrichter zusammenhängende etwas schiefe Stellung der Schichten in einem gewissen Umkreise an. Dass hier die optische Achse nicht ganz senkrecht heruntergeht, scheint auch daraus zu folgen, dass die durch die Kreuze geschiedenen Felder unter ± 45⁰ matter werden. Ist diese ganze Schlussfolge richtig, so ergibt sich, dass ein Querschnitt der Zellen des pflanzlichen Elfenbeines zum grössten Theile Kreuze dritter, dazwischen aber auch sparsame erster Ordnung an einzelnen Stellen zeigt, während der Längsschnitt nur Kreuze der letzteren Art darbietet.

§. 330. Sehr dünne Querschnitte der Eiweisszellen der Dattel liefern schöne Kreuze. Sie und die Längsschnitte verhalten sich ähnlich, wie die von *Phytelephas* gegen ein Gypsblättchen oder ein ¼ Glimmerblättchen. Untersucht man einen feinen Schliff eines Pfirsichkernes mit dem gewöhnlichen Mikroskope, so findet man stark verholzte Zellen, deren Querschnitt eine Menge hohler Ausläufer zeigt, welche die dicken Verholzungsschichten von der Zellenhöhle aus bis zur primären Zellenwand durchsetzen. Schwächere Vergrösserungen zeigen ein Polarisationskreuz, das bisweilen mit den Drehungen des Präparates in seiner Ebene wechselt, vorzugsweise nach der Aufbewahrung in Canadabalsam. Die verhältnissmässige Wirkung auf Gyps- und ¼ Glimmerblättchen ist wie bei *Phytelephas*. Alle Bilder stehen aber denen des pflanzlichen Elfenbeines bedeutend nach.

Sehr dünne Querschnitte der faserigen gelben Chinarinde eignen sich vorzüglich zu dem Studium der Wirkungen der Verholzungsschichten. Diese sind in den Bastzellen in solcher Menge abgelagert, dass oft das Lumen nur einer kleinen Oeffnung in der Mitte der ganzen Zelle gleicht. Die dünnsten Schnitte geben ein schwarzes Kreuz, das bei den Drehungen des Präparates in seiner Ebene unverändert bleibt oder unregelmässig wird oder selbst in zwei Schattenstreifen übergeht. Man hat eine verhältnissmässig negative Wirkung auf ein Gyps- und ein ¼ Glimmerblättchen. Etwas dickere

Querschnitte der Zellen zeigen schöne rothe und grüne oder blaue und gelbe Farben in den Quadranten neben dem schwarzen Kreuze. Die Einschaltung des Gypsblättchens ändert diese Färbungen auf das Mannigfachste. Alle diese Bilder fehlen in etwas dickeren Schnitten, welche die Verholzungsschichten gleichartig weissgelblich oder gelblich braun erscheinen lassen.

§. 331. Die Kreuze, welche die Tüpfel der Holzgefässe der Fichte oder der Tanne darbieten, zeigen sich am deutlichsten, wenn man alle Luft durch geschmolzenen Canadabalsam ausgetrieben hat. Sie beschränken sich wie bei *Phytelephas* nur auf eine kreisförmige Umgebung der Pore, dem Bezirke des Lückentrichters entsprechend. Die Wirkung auf Gyps- und $^1/_4$ Glimmerblättchen gleicht wieder der des pflanzlichen Elfenbeines. Die circulare Analyse des circular polarisirten Lichtes liefert schmutzig gelbe Flecke, deren Achsen auf der Achsenebene des Glimmers senkrecht stehen. Man bemerkt noch bisweilen zickzackförmige, von benachbarten in anderen Richtungen verlaufenden Zellen herrührende Bänder, die quer oder schief an den Tüpfelzellen hingehen und lebhafte blaue oder grüne Polarisationsfarben entwickeln.

§. 332. Die Verholzungsfasern, welche die Ring-, die Treppen- und die Spiralgefässe erzeugen, verhalten sich wie bandförmige Stücke einer secundären Zellenwand. Ihre neutralen Richtungen gehen in dem Längs- und dem Querdurchmesser dahin. Sie wirken verhältnissmässig negativ gegen Gypsblättchen. Wir wollen einiges Nähere an den so ausgezeichneten Spiralgefässen des Kürbisses und der Banane klar zu machen suchen.

§. 333. Die ihre natürliche Stellung bewahrenden oder etwas auseinander gezogenen Spiralbänder der Schraubengefässe beider Pflanzen glänzen auf dem dunkelen Gesichtsfelde wie matt silberweisse oder theilweise gelb oder bläulich gefärbte Sprungfedern. Steigen sie allmählig hinab, so dass sie fast wagerecht verlaufen, so ist natürlich die ungünstigste Orientirung die von 0^0 und 90^0 ihrer Längsachse und die günstigste die von $\pm 45^0$. Man kann sich hier-

von noch auf eine andere Weise an ***Musa paradisiaca*** überzeugen. Macht man einen Schnitt durch den Blattstiel dieser Pflanze, so treten häufig viele mit freiem Auge kenntliche Fäden auf, die nichts weiter, als isolirte Spiralgefässe sind. Zieht man sie aus, so gelingt es häufig, eine oder wenige Fasern so zu sondern, dass sie blosse Zickzackbiegungen machen. Man findet unter diesen einzelne mit fast rechtwinkeligen Armen, die in einer und derselben Fläche, nicht aber in die Tiefe verlaufen. Stellt man den einen Schenkel so ein, dass er einer der Polarisationsebenen der beiden Nicol parallel ist, so erscheint er mit seinem rechtwinkeligen Genossen auf schwarzem Grunde dunkel und auf dem rothen des Gypsblättchens roth. Man braucht aber das Präparat nur um 45° zu drehen, um den Schenkel, der dann der Achsenebene des Gypses parallel geht, in schönstem Blau und den anderen in feuerigem Gelb glänzen zu sehen. Die Farben vertheilen sich auch nach diesem Principe an den unversehrten oder nur wenig ausgezogenen Spiralgefässen und erzeugen oft die prachtvollsten Bilder.

§. 334. Die durch Maceration isolirten und später getrockneten Spiralgefässe des Kürbisstengels lehren, dass die sie umgebende Gefäss- oder Zellenwand in ganz ähnlichem Sinne doppelt bricht. Betrachtet man diese grossen Schraubengefässe von oben, so erkennt man die dem schwarzen Kreuze entsprechenden Schatten auf dem dunkelen Grunde und die blaue und gelbe Farbenvertheilung nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, wie in dem Querschnitte einer verholzten Zelle. Stehen die Spiralgefässe zu dicht oder ist der Querschnitt eines Gefässes zu gross, als dass man die entgegengesetzt gerichteten Fasern der gegenüber liegenden Seite bemerken könnte, so sieht man sie in Blau oder in Gelb und höchstens Streifen der Ergänzungsfarbe an den Seitenrändern des Gefässes. Auch die Treppengefässe und die porösen Gefässe von *Pteris aquilina* und von *Smilax Sarsaparilla* können das Gleiche darbieten. Erblickt man beide in entgegengesetzten Richtungen unter ± 45° emporsteigenden Abschnitte der Spiralfasern der Vorder- und der Hinterwand, so erscheint die eine prachtvoll blau und die andere lebhaft gelb.

§. 335. Die Fäden der Leinwand und die des Baumwollenzeuges leuchten sehr stark auf dem dunkelen Gesichtsfelde und liefern häufig Polarisationsfarben, die besonders bei der Baumwolle lebhaft ausfallen. Die beiden neutralen Richtungen der Leinwandfaser entsprechen der Längs- und der Querrichtung. Die bei der Verarbeitung um ihre Längsachse gewickelten Baumwollenfäden dagegen werden natürlich in keinem Azimuthe völlig dunkel. Ausgezeichnete Polarisationsfarben oder mindestens ebenso lebhafte, als die frischen Leinwandfäden, lieferten die Fäden der Leinwandstücke, in denen eine ägyptische Mumie eingewickelt war, die mithin ihre doppelt brechenden Kräfte mehrere Tausend Jahre bewahrt hatten. Die Hauptmasse der Fäden wurde unter 0^0 und 90^0 dunkel. Es blieben aber noch schiefe schmälere, bandförmige Streifen, die bei 45^0 grösstentheils undeutlich erschienen, während sich die Fäden lebhaft färbten.

§. 336. Die mehrstündige Behandlung eines Querschnittes des Tannenholzes oder der Zellenwände der Kartoffel mit sogenannter concentrirter Schwefelsäure änderte die verhältnissmässig negative Wirkung dieser Theile nicht. Ich konnte selbst das Präparat der Siedhitze eine kurze Zeit aussetzen, ohne dass der Charakter der Doppelbrechung wechselte. Die Cellulosa scheint hiernach gegen höhere Wärmegrade weniger empfindlich, als das Stärkmehl (§. 303) zu sein. Schnitte des Tannenholzes, die Tage lang in Nordhäuser Schwefelsäure gelegen hatten und schwarz und brüchig geworden waren, schienen allerdings viel von ihren doppelt brechenden Kräften eingebüsst zu haben.

§. 337. Der Ueberzug der Oberhautzellen von *Aloë picta* lieferte mir die gleichen Ergebnisse, wie sie Mohl[1] für *Aloë obliqua* erhalten hat. Will man hier verwirrende Bilder vermeiden, so muss man feine senkrechte und Flächenschnitte bereiten, sie mit Vermeidung allen Druckes in Canadabalsam einschliessen und vorzüglich darauf sehen, dass sich die Zellen des Längenschnittes nicht

---

1. Mohl a. a. O. S. 11.

auf die Fläche umlegen. Ein guter senkrechter Schnitt zeigt nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, dass die auf der Aussenfläche der Oberhautzellen liegende Cuticularschicht verhältnissmässig positiv, die tiefere Zelle selbst dagegen verhältnissmässig negativ wirkt. Der Flächenschnitt liefert sechsseitige Zellen, die durch dunkele, besonders unter ± 45° an einzelnen Stellen deutliche Linien getrennt werden. Stärkere Vergrösserungen geben die verhältnissmässig positive Farbenveränderung nach aussen und die relativ negative an einem schmalen Streifen nach innen. Die ungleiche Vertheilung beider verschiedenen Massen bedingt es, dass oft die Zellenwände unter 0° und 90° nicht vollständig oder nur unter 0° in genügender Weise dunkel werden.

§. 338. Das Kreuz der Kelchschüppchen von *Elaeagnus angustifolius* zeigt sich nicht immer mit gleicher Deutlichkeit. Es kam mir an Exemplaren, die aus einem Herbarium stammten, vor, dass es sich nach der Aufbewahrung in Canadabalsam weniger befriedigend darstellte, als bei blosser Untersuchung in der Luft. Die Abhaltung allen Seitenlichtes durch eine Deckröhre macht hier die Bilder viel deutlicher. Das Kreuz und seine Zwischenfelder liefern eine verhältnissmässig positive Wirkung gegen ein Gyps- oder ein $\frac{1}{4}$ Glimmerblättchen.

VII. Chitin und Horn.

§. 339. Die doppelt brechenden Eigenschaften des Chitins und des Hornes bedingen es, dass viele wirbellose Geschöpfe, deren äussere Hautdecken aus solchen Massen bestehen, auf dem dunkelen Grunde des Polarisationsmikroskopes leuchten oder ihre Doppelbrechung bei der Betrachtung mit einem achromatisirten Kalkspathprisma (§. 65) verrathen. Nobili[1] fand schon, dass die violetten Flügel von *Chylocopa violacea* Fabr. ein gewöhnliches violettrothes und ein ungewöhnliches dunkelgrünes Bild geben und die gelben Flügel von *Chrysomela graminis* gelblich in dem ordent-

1. Nobili, Pogg. Ann. Bd. XII. 1831. S. 614—16.

lichen und dunkelgrün in dem ausserordentlichen Felde erscheinen, wenn man sie mit einem Kalkspathprisma betrachtet.

§. 340. Manche kleine wirbellose Geschöpfe, z. B. viele Larven von Wasserinsecten[1] leuchten silberweiss, wenn man ihre Längsachse unter $\pm 45^0$ einstellt. Die Reflexion des Lichtes kann jedoch hier leicht Täuschungen herbeiführen. Aendert sich der matte Glanz bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene auf keine merkliche Weise, so ist eine genauere Untersuchung des Falles durchaus geboten. Senkt man die Deckröhre (§. 235) herunter, so dass die Reflexion des Lichtes beseitigt wird, so verwandelt sich oft das helle Bild sogleich in ein weit dunkeleres, das auch in allen Azimuthen schattig bleibt. Die getrockneten Eintagsfliegen können ein Beispiel der Art abgeben.

§. 341. Einzelne Thiere, z. B. ein *Philopterus* von *Tetrao urogallus* zeigte lebhaft glänzende Stücke, die mit der Drehung des Präparates in seiner Ebene wechselten. Etwas Aehnliches wiederholte sich, obgleich in schwächerem Grade, an *Pediculus pubis, equi* und *Cimex lectularius*, und der eingetrockneten *Filaria* des Froschblutes. Ein *Angiostoma* aus *Testudo mauritanica,* dessen Haut unter $\pm 45^0$ lebhaft leuchtete, hatte seine beiden neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach. Die Mundwerkzeuge der Bremse, der Rüssel der Biene, die Mundtheile und die Fussspitzen von *Tabanus tropicus*, die Fussspitzen der Spinnen, die Fussstummel der *Nereis*, die Hacken von *Serpula*, die Rankenfüsse von *Lepas* bildeten Präparate, die alle lebhaft glänzende, mit den Azimuthalstellungen wechselnde Bilder lieferten. Dasselbe wiederholte sich an manchen hornigen Innentheilen, z. B. den Hornstücken im Magen des Flusskrebses, der Zunge der Napfschnecke, der von *Chiton piceus* und am prachtvollsten an der der *Littorina*.

§. 342. Es kommt häufig vor, dass einzelne äussere oder innere Gebilde durchsichtiger wirbelloser Geschöpfe weit heller, als die übrigen Theile leuchten. Ein in Glycerin aufbewahrtes eiertragen-

1. GODDARD, Pogg. Ann. Ergänzungsband zu LI. 1842. S. 190.

des Exemplar von *Cyclops quadricornis* z. B. zeigte zwei lange silberglänzende, convergirende, von vorn nach hinten laufende Streifen, wenn die Längsachse des Thieres unter ± 45° stand. Jeder von ihnen bot die kleinste Lichtstärke bei der Orientation seines Längsdurchmessers unter 0° oder 90° dar. Sie wirkten verhältnissmässig positiv nach der Einschaltung eines Gypsblättchens.

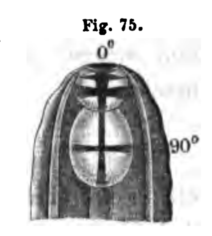
§. 343. Die Saugnäpfe der in Glycerin aufbewahrten Trematoden, wie *Distoma, Polystoma, Amphistoma* leuchten silberglänzend. Die eines *Distoma* aus *Testudo mauritanica* zeigten ein nicht ganz scharfes Kreuz und glänzende Strahlen in den Azimuthen, die 0° oder 90° nicht entsprachen. Das schlingenförmig zurücklaufende Darmrohr leuchtete in manchen Exemplaren silberhell, in anderen dagegen nicht. Der After war von einem hellen Ringstücke umgeben, das verhältnissmässig positiv gegen Gyps wirkte. Dieser erzeugte zwei gegenüberstehende blaue und zwei gelbe Felder mit verhältnissmässig positiver Vertheilung in den Saugnäpfen dieses *Distoma* und in den sonst mehr fortlaufend ringförmig leuchtenden von *Polystoma intergerrimum* aus der Harnblase und einem *Amphistoma* aus dem Darme des Frosches.

§. 344. Die Hornhacken der Taenien und der *Echinorhynchi* leuchten stärker, als die ebenfalls stark doppelt brechende Haut dieser Schmarotzer. Die neutralen Richtungen gehen nahezu der Länge und der Quere nach dahin. Trocknete ich frische Tänienköpfe aus dem Darme der Katze und schloss sie in Canadabalsam ein, so wirkte jeder Hacken mit seiner Längsrichtung unter + 45° gestellt verhältnissmässig positiv gegen ein Gypsblättchen. Die optische Achse müsste also der Quere nach dahingehen, wenn er wahrhaft negativ sein sollte.

§. 345. Das schönste Bild zeigte sich an einem in Glycerin aufbewahrten *Strongylus* aus dem Darme von *Testudo mauritanica*. Stellte ich die Längsachse des flaschenförmig gestalteten Schlundes unter 0° oder 90° ein, so gab seine Hauptmasse ein sehr scharfes, symmetrisches Kreuz, Fig. 75. Zwei kleine schwarze Querbänder,

die von einem Paare heller Streifen senkrecht durchschnitten wurden, liessen sich noch vorn erkennen. Drehte man das Präparat nach ± 45°, so wurden die letzteren undeutlich. Das grössere Kreuz verzerrte sich zuerst und verwandelte sich endlich in eine der Länge nach verlaufende Mittellinie, die sich hinten gabelig theilte. Man bemerkte in beiden Fällen eine Reihe concentrischer dunkeler Linien und eine verhältnissmässig positive Wirkung der Umgebung des Hauptkreuzes gegen ein Gypsblättchen. ¼ Glimmerblättchen rief eine relativ positive Aenderung hervor, wenn das Hauptkreuz durch die Azimuthe 0° oder 90° hergestellt worden.

Fig. 75.



§. 346. Die verhältnissmässig starke Doppelbrechung der Hornmasse bedingt es, dass hier schon lebhafte Polarisationsfarben bei der Untersuchung dünner Platten auftreten. Präparate der Oberhautschichten, der Nagelmasse und der Haare des Menschen, der Hörner der Wiederkäuer, der Klauen des Rindes, der Hufe des Pferdes, der Barten und der Oberhaut des Wallfisches, des käuflichen Fischbeines, der Krallen des Murmelthieres, der Haare der Fledermaus, des Pferdes, des Hundes, der Hausmaus, des Kaninchens, des Murmelthieres, des Hamsters, des Maulwurfes und des Schnabelthieres, der Stacheln des Igels und des Stachelschweines, des Schnabels des weissen Storches, der Schuppen der Fusshaut der Henne und des Adlers, der Federn der Gans und des Raben, der Hornplatten der Schildkröte, der Klapper von *Crotalus durissus*, der Hautschuppen von *Crocodilus sclerops*, *Iguana tuberculata*, *Galeotes variabilis*, *Scincus Perottei*, *Boa murina*, *Python hieroglyphicus*, *Amphisbaena fuliginosa*, *Illysia Scytale*, der Haut von *Bufo musicus*, der Schuppen des Barsches, der Nase des Zanders, der Haut des Aales und der Lamprete, der Stacheln des Rochen können dieses näher erhärten. Die so prachtvoll irisirenden Federn des Colibri oder von *Garrulus glandarius* leuchten keineswegs besonders stark auf dem dunkelen Ge-

sichtsfelde. Die dünneren Schuppen von *Boa murina*, die des Härings, die von *Gadus blennoides* und mancher anderen Fische, die in Glycerin aufbewahrte Haut von *Cyclops quadricornis* oder von *Scorpio europaeus* lieferten nur Zeichen schwacher Doppelbrechung.

§. 347. Enthält eine Hornmasse Faserzüge oder andere Linien, die in verschiedenen Richtungen verlaufen und deren optische Achsen ihnen entsprechend oder senkrecht darauf dahingehen, so leuchten die, welche unter $\pm 45^0$ eingestellt sind, am hellsten, während die unter 0^0 oder 90^0 orientirten dunkel geben. Das Bild ändert sich demgemäss bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene, wie man an den Flügeln vieler Neuropteren und der Haut von *Petromyzon marinus*, an einzelnen Schuppen der Eidechsen und mancher Fische, der Hornmasse der Klapper von *Crotalus durissus* und sehr auffallend an den dünnen Hornschildern der Füsse von *Aquila albicilla* sieht. Das Polarisationsmikroskop enthüllt auf diese Art Structurverhältnisse, die man sonst gar nicht bemerkt oder undeutlicher wahrnimmt.

§. 348. Brewster[1], der die Doppelbrechung der Hornmasse, wie die vieler anderer organischer Gewebe entdeckte, gab an, dass die neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach in dem Haare und dem Fischbeine verlaufen. Er spricht schon von gefärbten Ringen im Horne. Billet[2] rechnet die Hornmasse zu den einachsigen Körpern und stellt sie daher dem Perlmutt (§. 289) gegenüber. Ich gelangte zum Theil zu anderen Ergebnissen.

§. 349. Platten von Horn oder von Schildpatt, die Hornschilder an den Füssen der Vögel, z. B. des Huhnes, zeigen häufig bei gehöriger Dicke im Nörrenbergschen Polarisationsmikroskope zwei Hyperbeln, die zu einem Kreuze bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene zusammenstossen. Die zweiachsige

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1815. p. 35. 37. 40.
2. Billet a. a. O. Tome II. p. 538.

Beschaffenheit vieler Hornmassen lässt sich auch noch durch andere Erfahrungen darthun.

§. 350. Untersucht man einen Querschnitt der Oberhaut der Finger, die man einem lebenden Menschen entnommen hat, so sieht man die Hautlinien, die zwischen ihnen befindlichen Vertiefungen und in ihnen liegenden runden Oeffnungen der Spiraldrüsen. Die letzteren werden von concentrischen Lagen umgeben und diese zeigen bei günstiger Azimuthalstellung ein regelmässiges dunkeles Kreuz, das verhältnissmässig negativ auf ein Gyps- oder ein ¼ Glimmerblättchen wirkt. Man findet Präparate, in welchen die Längserhabenheiten, wenn sie unter $\pm 45^0$ stehen, abwechselnd gerichtete dunkele Curven oder Wellenlinien darbieten, während alle Polarisationsschatten an den Vertiefungen mangeln. Dreht man aber das Ganze in seiner Ebene, so rücken je zwei mit ihren convexen Seiten gegen einander gerichtete dunkele Linien näher an einander und vereinigen sich endlich zu einem Kreuze, das häufig gerade an einer Mündung einer Hautdrüse zusammenstösst, oder zu einer schiefen oder wagerechten Hauptlinie. Die Oberhaut der Handfläche einer ägyptischen Mumie liess noch die Hautlinien und die Doppelbrechung deutlich erkennen.

§. 351. Feine Querschnitte des Pferdehufes zeigen etwas Aehnliches in Bezug auf die Hornkanäle oder die Oeffnungen der Talgdrüsen, nur dass hier lebhafte Farbenflecke neben den dunkelen Curven auftreten. Man sieht oft an den dünnsten Stellen ein schwarzes Kreuz, das in eine schwarze Linie nach einer Drehung von 45^0 übergeht, um jede runde Oeffnung eines Hornkanales. Es verhält sich wiederum negativ gegen ein Gyps- oder ein ¼ Glimmerblättchen. Die zwischen ihnen befindlichen Bälkchen der Hornmasse sind von zahlreichen dunkelen Linien durchzogen, die oft zu unregelmässigen Kreuzen bei dem Wechsel der Azimuthalstellungen zusammenstossen.

§. 352. Die gekreuzte Verdoppelung (§. 206) liefert ein Mittel, Polarisationsfiguren im Horne zu erzeugen, wie sie sonst nur Mineralmassen zu geben pflegen. Ich schneide z. B. aus einer dün-

nen Hornplatte, wie sie im Handel zum Durchzeichnen von Mustern vorkommt, parallelepipedische Stücke, so dass deren längere Seiten parallel gehen und kreuze sie paarweise rechtwinkelig. Ein System von 4 Paaren enthält daher 8 solche Parallelepipede, von denen das erste, dritte, fünfte und siebente unter einander und ebenso das zweite, vierte, sechste und achte wechselseitig parallel, aber rechtwinkelig zu den ersteren verlaufen. Jedes einzelne ist von einer Schicht von Canadabalsam umgeben.

Ein System von einem Paare gibt im Nörrenberg oder Wild ein Kreuz, das sich in zwei nicht sehr auseinander weichende Hyperbeln bei dem Drehen auflöst. Das Gleiche wiederholt sich noch in einem Systeme von zwei Paaren. Es kann dabei vorkommen, dass die grösste gegenseitige Entfernung der Hyperbeln beträchtlicher, als im ersteren Falle wird. Ein System von drei Paaren bietet ein in der Mitte matteres Kreuz (§. 256) oder zwei Hyperbeln und schöne, nicht ganz regelmässige Ringe dar, die von innen nach aussen gelb, roth und grünblau gefärbt sind. Zwei Präparate mit vier Paaren gelangen am besten. Das eine zeigte ein in allen Azimuthen fast unverändert bleibendes Kreuz mit orangefarbenen, rothen und grünblauen regelmässigen Ringen. Das ganze Bild erinnerte auf das Auffallendste an das, welches ein dunkelgrüner sogenannter einachsiger Glimmer (§. 256) lieferte. Das zweite System von vier Paaren bot ein Kreuz dar, das in der Mitte etwas matter war, sich bei der Untersuchung einzelner Stellen des Präparates in den verschiedenen Azimuthen nicht änderte, bei der anderer dagegen in zwei weit abstehende Hyperbeln überging. Gelbe, rothe, blaugrüne, gelbe, rothe und grüne Ringe liessen sich im Umkreise in der Richtung von innen nach aussen erkennen. Man hatte mit einem Worte Bilder, wie sie auch die Kreuzung zweiachsiger Glimmerblättchen erzeugt (§. 256). Die Uebereinstimmung war insofern noch vollständig, als alle Präparate verhältnissmässig negativ auf ein Gyps- oder ein ¼ Glimmerblättchen antworteten und die circulare Analyse des circular polarisirten Lichtes länglich runde Ringe ohne Kreuz und mit gelblichem Innenraum hervorrief. Parallel oder spitzwinkelig aufgeschichtete Platten liefern übrigens ähnliche Bilder.

§. 353. STEEG übersandte mir zwei aus käuflichem Horn der Kammacher verfertigte Präparate, welche die zweiachsige Beschaffenheit ebenfalls nachweisen. Die eine als Längsschnitt bezeichnete Platte erscheint dem freien Auge gleichartig und gelblich, verräth ein undeutlich körniges oder faseriges Gefüge in dem gewöhnlichen Mikroskope und wird schwach grünlich nach der Hinzufügung zweier Nicol, ohne jedoch eine so lebhafte Farbenintensität wie die meisten übrigen Hornmassen darzubieten. Untersucht man sie aber in dem NÖRRENBERGschen Instrumente, so liefert sie prachtvolle länglichrunde isochromatische Ringe und zwar von innen nach aussen Gelb, Orangegelb, Roth, Dunkelblau, Hellblau, Grün, Gelb, Roth, Grün. Zwei Hyperbeln, die bei $\pm 45^0$ am weitesten abstehen (Fig. 43 S. 134) vereinigen sich zu einem Kreuze bei 0^0 oder 90^0. Der Unterschied der längeren und der kürzeren Achse der Ringe ist bei 0^0 grösser, als bei 90^0. Der äussere Achsenwinkel gleicht ungefähr dem des blausaueren Kali, was natürlich keinen Rückschluss auf die Gleichheit des inneren Winkels wegen der Verschiedenheit des Brechungsverhältnisses gestattet (§. 44). Die Untersuchung in einfarbigem rothen oder blauen Lichte setzt die Zahl der Ringe auf einen breiten herab. Gebraucht man ein doppeltes Ueberfangglas, so dass die Grenze des Roth und des Blau der kleineren Achse der Ringe entspricht, so sieht man sehr schön, wie die Fahrstriche des blauen Feldes kürzer, als die des rothen sind. Hat man die Platte unter 0^0 gestellt, so verwandelt die lineare Analyse des circular polarisirten oder die circulare Analyse des linear polarisirten Lichtes das Kreuz in zwei Punkte, deren Verbindungslinie der Achsenebene des $^1/_4$ Glimmerblättchens parallel geht. Diesem entsprechend öffnet sich auch das Kreuz bei dem Ueberführen aus dem Linearen durch das Elliptische in das Circulare in zwei Hyperbeln, deren nicht quere Achse auf der Achsenebene des $^1/_4$ Glimmerblättchens senkrecht steht. Die circulare Analyse des circular polarisirten Lichtes verwandelt die unter 0^0 auftretende Figur in eine Anzahl länglichrunder Ringe ohne Kreuz. Die lineare gibt nach innen von dem innersten rothen und dann dunkelblauen Ringe gelbe verwaschene Flecke, deren Verbindungslinie auf der Achsenebene des $^1/_4$ Glimmerblätt-

chens senkrecht steht. Die Ringe sind etwas länglicher bei dem Gebrauche von links, als bei dem von rechts circular polarisirten Lichte.

Die zweite Hornplatte zeigt Faserstriche, denen entsprechend kleine längliche mikroskopische Körperchen dahingehen und liefert schon lebhaftere Farben bei dem blossen Gebrauche zweier NICOLschen Prismen. Das NÖRRENBERGsche Instrument gibt bei möglichster Annäherung lemniscatenähnliche Curven, die als lebhafte breite Farbenbänder auftreten und von zwei dunkelen schmalen Hyperbeln durchschnitten werden. Die Drehung um $\pm 45^0$ verwandelt diese in ein Kreuz an einzelnen und in eine Achterfigur an anderen Stellen. Das Bild hat an manchen Stellen das Ansehen, als lägen mehrere isochromatische Curvensysteme nicht ganz übereinstimmend blätterweise über einander. Ein blaues Ueberfangglas, ein Gyps- oder ein $^1/_4$ Glimmerblättchen wirken, wie bei der ersten Platte.

§. 354. Alle bisher genannten dichten Hornmassen des Menschen, der Säugethiere und der Vögel stimmen darin überein, dass sie zweiachsig und verhältnissmässig negativ sind und einen grösseren Achsenwinkel für Roth als für Blau darbieten.

§. 355. Die gewöhnlichen Präparate des Hornes, des Hufes und der Federn liefern ein verschiedenfarbiges gesprenkeltes Ansehen in dem NÖRRENBERGschen und breitere Farbenflecke in dem gewöhnlichen Polarisationsmikroskope. Hat man aber eine solche Platte von Horn oder einer Feder von gehöriger Dünne, so verräth der gekrümmte Verlauf der farbigen Flecke, wie sie im Nörrenberg auftreten, dass sie ursprünglich isochromatischen Curven angehören.

§. 356. Das grauweisse, also nicht durch seine Pigmentablagerungen störende Fischbein gibt ein merkwürdiges Analogon mit einer parallel der Achse geschnittenen Platte. Eine solche Quarzplatte von 4 Mm. Dicke z. B. lässt keine Figur in weissem oder einfarbigem Tageslichte erkennen. Man sieht dagegen die

Hyperbeln in dem gelben Lichte der Kochsalz-Weingeistflamme (§. 167). Kreuzt man zwei dieser Quarzplatten von 4 Mm. Dicke rechtwinkelig, so erblickt man die Hyperbeln in jeder Art von Tageslicht (§. 186). Die letzteren kommen auch bei rechtwinkeliger Kreuzung dicker Gyps- oder Glimmerplatten zum Vorschein[1]. Das Fischbein bietet das Gleiche, nur mit dem Unterschiede dar, dass das farbig gesprenkelte Aussehen einer einfachen Platte im Tageslichte auftritt, wenn die $\pm 45^0$ orientirte Quarzplatte hell und farblos erscheint.

Ich spalte einen grauweissen Fischbeinstab und schabe dann seine Oberfläche so lange bis die Dicke $^1/_8$ bis $^1/_2$ Mm. beträgt. Untersucht man eine solche einfache Platte im Nörrenberg bei Tageslicht, so sieht man nur die farbigen Sprenkel. Wiederholt man die Beobachtung im dunkelen Zimmer bei dem Scheine der Kochsalz-Weingeistlampe, so bemerkt man eine Reihe von Hyperbeln (§. 186), wie sie eine parallel zur Achse geschnittene Quarzplatte gibt. Diese muss aber viel dünner als die Fischbeinplatte sein, wenn die innersten vier Hyperbeln gleich weit vom Mittelpunkte in beiden abstehen sollen. Hieraus folgt, dass die scheinbar so grosse Doppelbrechung der Fischbeinplatte dennoch geringer als die des Quarzes ist.

Kreuze ich zwei grauweisse Fischbeinplatten rechtwinkelig, nachdem ich sie mit Terpentinöl oder mit Canadabalsam umgeben habe, so sehe ich in gelungenen Präparaten im Nörrenberg die vier Systeme von Hyperbeln dem Mittelpunkte ebenso nahe gerückt, wie sie Fig. 39 S. 131 nach zwei rechtwinkelig gekreuzten Quarzplatten gezeichnet worden. Die einzelnen Hyperbeln sind aber breiter, gleichartiger und lebhafter gefärbt. Manche nicht genau rechtwinkelig gestellte oder nicht passend dicke Platten liefern minder regelmässige, aber noch immer als solche erkennbare hyperbolische Curven. Untersucht man zwei gekreuzte Quarzplatten in circular polarisirtem Lichte, so ändert sich ihre Form nicht, sondern nur die Lichtstärke, wie sich auch theoretisch erwarten lässt. Bedient man sich dagegen rechts circular polarisirten Lichtes zur

1) Billet a. a. O. Tome I. p. 485.

Beobachtung der gekreuzten Fischbeinplatten, so rücken die zwei seitlichen Hyperbeln einander näher, als das andere Paar.

§. 357. Die Schuppen oder vielmehr die hornigen Hautstücke von *Tetragonurus Cuvieri* zeichneten sich durch die prachtvollen mannigfachen Farben nach der Einschaltung eines Gypsblättchens aus. Die lebhaft leuchtenden Stacheln an den Schuppen der Neunauge haben neutrale Richtungen der Länge und der Quere nach für den grössten Theil ihrer Masse und wirken positiv im Verhältniss zur Länge. Die kleineren Schuppen von *Perca fluviatilis* leuchten nur silberweiss in dem dunkelen Gesichtsfelde, grössere und dickere dagegen liefern ziemlich lebhafte Farben, vorzüglich an den am Rande befindlichen Zacken. Ist eine von diesen mit ihrer Längsachse unter 0° oder 90° eingestellt, so wird die Mitte der Länge nach von einer dunkelen welligten Linie durchsetzt, die bei der Drehung nach ± 45° gegen den Rand hin wandert und endlich von der Oberfläche der Zacke aus bisweilen gänzlich schwindet. Die Einschaltung eines Gypsblättchens erzeugt wieder die mannigfachsten und lebhaftesten Färbungen.

§. 358. Ein Präparat der Haut von *Iguana tuberculata* lieferte schöne himmelblaue Querbänder zwischen den Schuppen, wenn die Längsachse der letzteren unter ± 45° stand. Sie mangelten bei 0° und 90°. Diese Erscheinung, sowie matte Querstreifen, die man bei gewöhnlichem Lichte in jenem Präparate bemerkte, fehlten in vier anderen Proben, die von demselben Thiere stammten. Das Ganze rührte vermuthlich von Fasern der Lederhaut her.

§. 359. Ein graues, in Canadabalsam eingeschmolzenes Menschenhaar zeigt schon ohne Vergrösserung, dass seine neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach dahingehen und dass es lebhafte Farben bei ± 45° entwickelt. Arbeitet man unter dem Mikroskope, so bemerkt man, dass die Stellungen 0° und 90° die Rindenmasse dunkel machen oder höchstens kleine helle farbige Flecke zurücklassen, das ebenfalls dunkele Mark aber von der Rinde deutlich unterschieden ist. Eine geringe Drehung von

0^0 nach $\pm 45^0$ entwickelt sogleich lebhafte Farben. Man sieht z. B. in einem nahezu gleich dicken Haare von mässigem Querdurchmesser aussen einen weissgelben Streifen, dann nach innen Gelb, Orange und Roth, endlich ein blaues Band dicht an dem schwarz und gelb punktirten Marke. Orientirte ich ein solches Haar und zugleich die Achsenebene des Gypsblättchens unter $+45^0$, so änderte sich die Färbung in folgender Weise:

Angewandtes Gypsblättchen.	Aenderungsfarbe des	
	inneren blauen Streifens.	äussersten weissgelben Streifens.
Roth erster Ordnung.	Blauroth.	Grüngelb.
Roth zweiter Ordnung.	Roth.	Grüngelblich.
Roth dritter Ordnung.	Innen Gelb, aussen Roth.	Innen Blau, aussen Grün.
Roth vierter Ordnung.	Roth.	Grün.
Gelb zweiter Ordnung.	Blassroth.	Grün, aussen schmales Gelb.
Grünblau dritter Ordnung.	Grün.	Roth, aussen schmales Gelb.

Ein Violett zweiter Ordnung (von dem Werthe 570. §. 174) löschte die äussere Hälfte des Blau und das zwischen ihm und dem Gelb befindliche Roth fast gänzlich aus und verwandelte die innere Hälfte des Blau in Graublau.

§. 360. Schmilzt man zwei nahezu gleich dicke Stücke desselben grauen Menschenhaares in Canadabalsam rechtwinkelig gekreuzt ein und orientirt sie unter $+45^0$ und -45^0 mit ihren Längen- und Querdurchmessern, so sieht man ausser den zwei jenen Azimuthen entsprechenden Markkanälen ein in der Rinde verlaufendes einfaches oder aus zwei Halbmonden bestehendes schwarzes Kreuz, Fig. 76, dessen Arme nach den Enden spitz zulaufen, unter 0^0 und 90^0 dahingehen und daher Winkel von 45^0 mit den Markkanälen bilden. Die durch die gleich grossen und entgegengesetzten Gangunterschiede bedingte Kreuzfigur entspricht vollkommen der von zwei rechtwinkelig gekreuzten langen und schmalen parallelepipedischen Glasplatten, die man rothglühend gemacht und dann mit einer längeren Kante auf eine kalte

Fig. 76.

-45^0 $+45^0$

Metallplatte gestellt hat[1]. Schon die oben erwähnten Farbenerscheinungen erinnern an die, welche eine solche Glasplatte, aber erst nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, darbietet. Orientirt man die Längsachsen der beiden Haare unter 0° und 90°, so wird das Kreuz undeutlich, kann aber noch nach der Einfügung eines Gypsblättchens erkannt werden. Man wählt hierzu am besten ein solches von Blau zweiter Ordnung (Werth 664 §. 174), wo dann zum Theil das Kreuz und der Seitenrand des Haares roth erscheinen. Dasselbe Gypsblättchen gibt an dem Kreuz der erwähnten Haare die beiden Halbmonde desselben, die auf der Achsenebene des Gypses senkrecht stehen, roth und die zwei anderen blau.

Braune gekreuzte Haare zeigten zwei gesonderte oder durch einen Rhombenschatten verbundene Halbmonde oder einen zwischen diesen befindlichen dunkelen Strich für die Orte gleicher und entgegengesetzter Gangunterschiede.

§. 361. Hat man zwei rechtwinkelig gekreuzte Haare von passender Dicke unter + 45° und — 45° orientirt, so geben sie beide, wie erwähnt, blaue Bänder an den zwei Seiten des Markkanales und weisse bis weissgelbe am Umkreise. Schmale röthliche Streifen schalten sich bisweilen zwischen beiden ein. Wählt man nun Gypsblättchen, deren Grundfarbe mit der eines Bänderpaares nahezu übereinstimmt, so lässt sich der verhältnissmässige Charakter unmittelbar beurtheilen. Schaltet man daher das oben erwähnte blaue Gypsblättchen unter + 45° ein, so werden die + 45° entsprechenden blauen Bänder grünblau und die gelben gelbroth; die ersteren dagegen unter — 45° schwarzblau bis fast schwarz und die letzteren weissgelb. Nimmt man ein Gypsblättchen von Gelb zweiter Ordnung (Werth 910) unter + 45°, so wird das + 45° angehörende Blau mattroth und das Gelb grünlich, das — 45° entsprechende Blau weiss und das Gelb weissröthlich. Die Färbung der mit dem Gypsgrunde gleichfarbigen Bänder steigt also unter + 45°.

---

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1816. P. I. Pl. II. Fig. 3 copirt z. B. in Gehlers phys. Wörterbuch Bd. VII. Abth. II. Leipzig 1834. 8. Taf. X. Fig. 111, wo auch Brandes, S. 817, die Erscheinung näher erklärt.

§. 362. Die Haare eines Schimmels lieferten schmalere und minder feuerige Bänder, als die grauen Menschenhaare. Die neutralen Richtungen gingen auch hier der Länge und der Quere nach dahin.

§. 363. Eine eigenthümliche Erscheinung zeigte sich an den feinen, elliptisch begrenzten Querschnitten der Haare von *Bradypus tridactylus*. Die Markmasse bildete eine hellere, in der Mitte befindliche Ellipse. Hatte man die Achsen von dieser nicht ganz unter $\pm 45^0$ eingestellt, so zeigte sie in ihrem übrigens hellen Felde ein dunkeles Kreuz, dessen Arme unter 0^0 und 90^0 dahingingen und dessen Zwischenquadranten verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen von Roth erster Ordnung oder $^1/_4$ Glimmerblättchen wirkten. Drehte man die längere Achse der elliptischen Markmasse nach 0^0 oder 90^0, so erschien nur ein schwarzer breiter Streifen, der etwas schief in Bezug auf die Polarisationsebene des Zerlegers dahinging und den rothen Grund des Gypses wiedergab.

Die Kopfhaare einer ägyptischen Mumie des Menschen hatten eine schwächere Doppelbrechung, als die oben erwähnten Menschenhaare, lieferten keine lebhaften Farben und gaben bei der rechtwinkeligen Kreuzung dunkele Halbmonde, Kreuze oder Rhomben. Die Nagelmasse des Daumens der gleichen Mumie brach das Licht bei weitem stärker.

§. 364. Dreht man einen feinen Querschnitt des Stachels von *Erinaceus europaeus* in seiner Ebene, so geben alle geradlinigt verlaufenden Balken der Innenmasse die geringste Lichtstärke bei 0^0 und 90^0 und die grösste bei $\pm 45^0$. Dasselbe wiederholt sich für die im Längsschnitte dahingehenden breiteren longitudinalen und schmaleren queren Balken. Die letzteren haben auch ihre neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach in den Stacheln von *Hystrix cristata* und von *Dicotyles*.

§. 365. Nimmt man ein passendes Gypsblättchen, z. B. je nach Verschiedenheit der Verhältnisse ein solches von Roth erster oder zweiter Ordnung zu Hilfe, so überzeugt man sich unter günstigen

Verhältnissen von der doppelt brechenden Wirkung der Pflasterzellen der Bindehaut des Auges, der Leberzellen und der Rindenblättchen eines mit Schwefelsäure behandelten Haares des Menschen, der Oberhaut und der Flimmerzellen der Mundschleimhaut des Frosches. Man kann auf zweierlei Art nachweisen, dass schon die jüngeren Oberhautzellen das Licht kräftig doppelt brechen. Macht man einen Querschnitt durch die tieferen Oberhautschichten, so sieht man immer noch das §. 350 erwähnte Kreuz um die runden Oeffnungen der Drüsengänge. Ein senkrecht durch die Oberhaut und die Lederhaut der Fusssohle geführter Schnitt zeigt die lebhaften Farben und die Schattenlinien bis dicht an die Hautwärzchen und lässt zugleich die Schraubengänge der Drüsen mit voller Deutlichkeit erkennen.

§. 366. Man kann in günstigen Fällen bemerken, dass die Flimmerhaare doppelt brechen. Arbeitet man in sehr hellem Lichte, so sieht man, dass nicht bloss die losgeschabten Cylinderzellen, z. B. der Luftröhrenschleimhaut des Murmelthieres oder der Mundschleimhaut des Frosches, sondern auch deren Wimpern auf dem dunkelen Grunde leuchten. Nimmt man je nach der Verschiedenheit des Präparates ein reines Gypsblättchen von Roth erster oder zweiter Ordnung (Werth 536 oder 1101 §. 174), so zeigt sich, dass der Flimmerrand (*Crepido vibratoria*) je nach Einstellung unter $\pm 45^0$ blauviolett oder gelb ist. Die Orientation unter 0^0 oder 90^0 lieferte mir keine deutliche eigenthümliche Färbung, so dass die neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach zu verlaufen scheinen. Gypsblättchen von Roth anderer Ordnungen und blaue, violette, grüne oder gelbe gaben mir keine so deutlichen Farbenänderungen oder nur einen in allen Stellungen wiederkehrenden gelben Saum. Die Flimmerhaare der Kiemen der Miessmuschel führten zu denselben Ergebnissen, wie die des Frosches. Sie zeigten das Gelb und besonders das Blau nach dem Eintrocknen sehr deutlich. Ein Blättchen von Roth zweiter Ordnung liess die Körperfläche der *Opalina ranarum* während des Lebens des Thieres und noch stärker unmittelbar nach der Tödtung durch Glycerin gelb erscheinen.

VIII. Knorpel, Knochen und Zähne.

§. 367. BREWSTER[1] kannte schon die doppelt brechenden Eigenschaften der Knorpel, der Knochen und des Elfenbeines, bemerkte Ringe in dem durchsichtigen Knorpel des Schulterblattes des Schafes und in einem platten Knochen des Stockfisches und fand endlich, dass die neutralen Richtungen parallel und senkrecht auf die Längsrichtung des knorpeligen Theiles des Brustbeines des Hühnchens und der Länge und der Quere nach in den cylindrischen Fischknochen dahingehen. Der Intensitätsunterschied der beiden durch Elfenbein erzeugten Bilder fiel grösser aus, als es BREWSTER[2] bei einer anderen Masse wahrgenommen hatte. BIOT[3] erkannte noch gefärbte Zonen in dem dem Elfenbein zum Grunde liegenden Knorpel, den DARCET durch Entfernung der Kalksalze dargestellt hatte und nahm nach diesen, wie nach anderen Beobachtungen an, dass die von MALUS entdeckten doppelt brechenden Wirkungen der Pflanzen- und der Thiergewebe von jedem einzelnen Molecüle in eigenthümlicher Weise hervorgerufen werden, dass mithin eine Aehnlichkeit mit gepressten oder gekühlten Gläsern vorhanden ist. MARX[4] hob die schönen Polarisationsfarben feuchter und trockener Blätter des durch Salzsäure dargestellten Knochenknorpels des Oberschenkels des Ochsen hervor. W. MÜLLER[5] glaubt nach seinen Prüfungen (§§. 178 und 210), dass der Knorpel und der Knochen positive einachsige Körper seien und lässt die optische Achse in der Richtung der Längsachse der Röhrenknochen dahingehen.

§. 368. Man kann sich von der Doppelbrechung der Grundmasse des ächten Knorpels leicht überzeugen. Untersucht man z. B. einen oberflächlichen Flächenschnitt des Knorpelüberzuges

1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1815. p. 36. 37. 43.
2. BREWSTER, Ebendaselbst p. 43.
3. BIOT, *Traité de Physique expérimentale et mathématique.* Tome IV. Paris 1816. 8. p. 567. 68.
4. BRANDES in Gehlers phys. Wörterb. Bd. VII. Abth. 2. Leipzig 1834. 8. S. 826.
5. W. MÜLLER, Henle und Pfeuffers Zeitschrift. Bd. X. 1860. S. 187—91.

des Oberschenkelbeines eines Erwachsenen und stellt die hier vorhandenen spindelförmigen Knorpelkörperchen unter ± 45° ein, so erscheinen sie dunkel schattirt in Vergleich zu der silberweissen ächten Knorpelmasse. Man darf aber hieraus nicht schliessen, dass sie selbst die Fähigkeit der Doppelbrechung nicht besitzen. Sehr dünne Schnitte des Schildknorpels oder der Innentheile anderer Knorpel, die grosse Knorpelkörper führen, lehren, dass die Masse von diesen das Licht ebenfalls doppelt bricht. Die oft als Kerne oder Kernkörperchen angesprochenen Hohlräume bieten natürlicher Weise diese Erscheinung nicht dar. Die als Knorpel bezeichneten Massen in den Scheeren des Flusskrebses oder den Kiemen der Miessmuschel besitzen ebenfalls die Fähigkeit der Doppelbrechung.

§. 369. Die meisten Knorpel haben eine dünnere oder dickere gleichartigere Lage, die wir die Rindenschicht nennen wollen, dicht unter der Knorpelhaut, während das Uebrige oder die Innenmasse aus einem Netzwerke der Grundsubstanz besteht, in dessen Maschenräumen die Knorpelkörper eingelagert sind. Man erkennt dieses in polarisirtem Lichte deutlicher, als in gewöhnlichem. Der gleiche Knorpel, z. B. der Schildknorpel, führt eine sehr dünne Lage von Rindenmasse in dem einen und eine merklich dickere in dem anderen Menschen. Das letztere begünstigt die Untersuchung in polarisirtem Lichte und die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf solche passendere Präparate.

§. 370. Ein feiner Querschnitt des Schildknorpels des Erwachsenen lehrt, dass die neutralen Richtungen der Rindenschicht, der die Knorpelkörper umgebenden Balken und der besonders in älteren Personen eingestreuten Faserbündel für jedes einzelne dieser Gebilde der Länge und der Quere nach verlaufen. Stellt man das Präparat unter 0° oder 90° ein, so erscheint Alles in der geringsten Lichtstärke bis auf eine gewisse Menge schief dahingehender Balken, die um so heller leuchten, je mehr sich ihre Längs- und ihre Querachse ± 45° annähern. Dreht man dann das Präparat um 45° nach rechts oder links, so nehmen die Streifen der

Rinden- und die auf ihnen senkrechten Balken der Innenmasse einen immer lebhafteren Silberglanz an. Das Gleiche wiederholt sich für einen auf diesem Querschnitte rechtwinkeligen Längsschnitt oder einen zu ihm geneigten schiefen Schnitt. Könnte man mit Sicherheit nachweisen, dass die Knorpelmasse einachsig ist, so würde hieraus folgen, dass die optische Achse hauptsächlich in der Richtung der Dicke dahingeht. Da der Querschnitt seine neutralen Richtungen seiner Länge und Quere nach hat und unter $\pm 45^{0}$ in der grössten Lichtstärke erscheint, so folgt, dass die vorläufig als einfach angenommene optische Achse nicht der Länge nach dahingehen kann. Der Längsschnitt beweist das Gleiche für die Quere und jeder beliebige zwischen beiden liegende schiefe Schnitt für die auf seiner Fläche senkrechte Richtung. Es bliebe daher nur die Richtung der Dicke oder die radiale Hauptrichtung für die optische Achse übrig.

Sollte diese Schlussfolgerung unzweifelhaft richtig sein, so müsste ein sehr dünner Schnitt parallel der Oberfläche des Schildknorpels bei kleinerer Flächenausdehnung in allen Azimuthen dunkel erscheinen. Er würde ein Kreuz bei grösserer Dicke liefern. Dieses ist aber nicht der Fall. Hat man die Knorpelhaut (*Perichondrium*), deren Fasern ebenfalls doppelt brechen, möglichst sorgfältig durch Schaben entfernt und prüft dann einen dünnen Flächenschnitt, so erscheint zwar ein sehr grosser Theil desselben in dem dunkelen Gesichtsfelde dunkel. Man sieht aber immer einzelne hellere Flecke oder selbst leuchtende Faserzüge, die Knorpelkörperchen umgeben. Der Wechsel des Azimuthes ändert auch die Flecke und die helleren Stellen. Der Knorpel ist mithin entweder zweiachsig oder in seiner Dicke von Netzen durchflochten, deren optische Achsen in anderen Richtungen, als die der Dicke verlaufen.

Schaltet man ein Gypsblättchen ein, so wirken die Rindenschicht und die Bälkchen der Grundmasse in Verhältniss zu ihrer Längsachse positiv.

§. 371. Die gleichen Erscheinungen wiederholen sich an dem oberen oder dem unteren Horne des Schildknorpels, an den

Nasenknorpeln, z. B. der *Cartilago pinnalis*, und den Knorpeln der Luftröhrenringe des Erwachsenen. Ich machte häufig den Versuch, die mit oder ohne Einschaltung eines Gypsblättchens auftretenden Farbenveränderungen zu verfolgen, wenn ich das Präparat von oben nach unten um die Längs- oder um die Querachse der Rindenschicht oder der Balken drehte. Da nur dünne Schnitte durchsichtig genug sind, um bei durchfallendem Lichte mikroskopisch untersucht zu werden, so erzeugen auch meistentheils Neigungen von mehr als 30° oder 40° keinen merklichen Farbenwechsel. Einzelne Fälle, die allerdings ein Steigen oder Sinken lieferten, waren so unbestimmt, dass ich hieraus keine Schlüsse zu ziehen wagte.

§. 372. Länglichrunde Querschnitte der Hörner des Schildknorpels und ähnlich gestaltete senkrechte Schnitte der Luftröhrenringe des Menschen zeigen bisweilen unter schwachen Vergrösserungen oder hin und wieder noch besser ohne diese kreuzähnliche oder rhombische in vier feine Strahlen auslaufende Schattenflecke, die sich bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene ändern. Stärkere Vergrösserungen vernichten dieses Bild hier, wie in anderen ähnlichen Fällen, weil sie kleinere Einzelnheiten zur Anschauung bringen, die Uebersicht des Ganzen aufheben, weniger in die Tiefe blicken lassen und die Schatten heller machen. Ein solcher Querschnitt des oberen Hornes des Schildknorpels, der einen Rhombenschatten darbot, antwortete verhältnissmässig negativ auf ein Gyps- oder ¼ Glimmerblättchen. Da ein mit seiner Längsachse parallel der Achsenebene des Gypses gelagerter Längsschnitt verhältnissmässig positiv wirkt, so würde dieses darthun, dass die optische Achse in der letztern Richtung nicht dahingeht, vorausgesetzt dass die Masse einachsig wäre. Der Knorpelstrahl der Flosse eines seit ungefähr zwei Decennien in Weingeist aufbewahrten Dornrochens verhielt sich vollkommen gleich, nur dass man an ihm nicht die Prüfung mit ¼ Glimmerblättchen vornehmen konnte.

§. 373. Die Schnitte des Netzknorpels des Kehldeckels

und des Knorpels des äusseren Ohres müssen sehr dünn sein, wenn man ihren Bau und ihre Doppelbrechung genügend erkennen soll. Sie leuchten dann schwach auf dem dunkelen Gesichtsfelde und ändern die Grundfarbe des Gypses in mässigem Grade. Feine Schnitte der Knorpelmasse des äusseren Gehörganges wirken stärker. Alle drei ändern aber die Farbe des Gypsblättchens weit kräftiger, wenn man sie getrocknet und dann in Canadabalsam eingeschlossen hat.

§. 374. Die Angabe, dass die neutralen Richtungen der Knochen in der Länge und der Quere verlaufen, gilt nur der Hauptmasse nach im grossen Ganzen selbst für kleine cylinder- oder kegelähnliche Knochenmassen. Untersucht man z. B. einen oberen und einen unteren Dorn der Wirbelsäule einer Sardelle, die rechtwinkelig gekreuzt in Canadabalsam eingeschlossen worden, unter schwacher Vergrösserung, so findet man, dass jeder von ihnen unter ± 45° am stärksten silberglänzend, unter 0° und 90° im Minimum der Lichtstärke dem grössten Theil seiner Masse nach erscheint. Man bemerkt aber auch einzelne leuchtende Stellen in dem letzteren Azimuthe. Der Gebrauch stärkerer Vergrösserungen liess eine Eigenthümlichkeit, die im gewöhnlichen Lichte leichter übersehen werden konnte, nachdrücklicher hervortreten. Der eine Dorn enthielt im Inneren ein Gebilde, ähnlich einem Schraubenbande, das der Länge nach herabging und mit seinen unter ± 45° stehenden Stücken weiss leuchtete, wenn die Längs- oder die Querachse des ganzen Dornes unter 0° stand. Ich habe diesen Bau in anderen Sardellendornen nicht wiedergefunden.

§. 375. Orientirte man die zwei Dornen unter ± 45°, so zeigte die Kreuzungsstelle eine dunkele viereckige mit zwei concaven Rändern versehene Figur als den Ausdruck der gleich grossen und entgegengesetzten Gangunterschiede. Beide Dornen wirkten verhältnissmässig positiv auf ein Gypsblättchen, wenn ihre Längsachse der Achsenebene des letzteren parallel stand. Die Durchkreuzungsstelle liess die Grundfarbe des Gypses nur trüb durchschimmern.

Benutzte ich hierbei ein Gypsblättchen von Roth erster Ord-

nung, so stieg die Farbe des Dornes, dessen Längsachse der Achsenebene des Gypses parallel war, in der Mitte zu Grün und an den (dünneren) Seiten zu Blau. Der Dorn, dessen Längsachse zur Achsenebene des Gypses senkrecht stand, bot ein Gelblichweiss mit einzelnen eingestreuten grünen Strichen dar. Drehte ich das Präparat von oben nach unten um die Längsachse, welche der Achsenebene des Gypses entsprach, so sank das Grün in der Mitte des entsprechenden Dornes zu Blau, während das Blau der Seitenränder dunkeler wurde. Das Weissgelb des anderen Dornes stieg zu entschieden Gelb. Die Achse der Dornen ging also der Quere nach dahin und die Masse derselben war negativ. Stellte man das Präparat unter 0^0 und 90^0 ein, so zeigten die $\pm 45^0$ entsprechenden Stücke des Schraubenbandes lebhafte abwechselnde blaue und gelbe Farben.

§. 376. Was das Studium der Knochenschliffe betrifft, so muss man immer nur die günstigsten unter einer grösseren Menge auswählen, wenn man die feineren Verhältnisse ermitteln will. Da der Schliff weder zu dick, noch zu dünn sein darf und wenigstens mit seinen Hauptheilen genau senkrecht oder parallel einer bestimmten Richtung dahingehen muss, so ergibt sich von selbst, dass nicht alle auf das Gerathewohl genommenen Präparate genügen. Man untersucht am besten unter Terpentinöl oder Canadabalsam.

§. 377. Ein dünner Querschliff des Oberschenkelbeines von *Rana esculenta* zeigt keine Haversschen oder Markkanälchen, dagegen zahlreiche länglichrunde bis spindelförmige Knochenkörperchen. Ein für diese Untersuchungen besonders geeignetes Exemplar liess besser, als mehrere andere, drei Schichten unterscheiden, eine äussere breite Rindenlage, ein mittleres schmales Ringband und eine innere, nach der grossen Markhöhle wellig begrenzte Masse. Untersuchte man das Ganze in polarisirtem Lichte und unter schwacher Vergrösserung, so glänzte vor Allem das mittlere Ringband silberweiss. Es war durch vier Kreuzflecke, die den Polarisationsebenen der Nicol entsprachen, unterbrochen. Die

äusserere Rindenlage erschien an vielen Stellen dunkel und die Ränder der Innnenmasse leuchteten vorzugsweise in den Stellungen ±45⁰. Die hellen Abschnitte wirkten verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen und ebenso die dunkelen Kreuzbezirke auf ¼ Glimmerblättchen.

Ein Längsschliff des Oberschenkelbeines des Frosches hatte seine hauptsächlichsten neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach. Er wirkte mit seiner Längsachse orientirt verhältnissmässig positiv auf ein Gypsblättchen. Dieser Umstand mit den Anschauungen, die der Querschnitt gab, verbunden lehrt, dass die optische Achse nicht der Länge nach dahingeht. Das gleichförmige Blau der Rindenmasse eines Längsschliffes, dessen Längendurchmesser parallel der Achsenebene eines Gypsblättchens von Roth erster Ordnung gestellt war und als Drehungsachse benutzt wurde, ging zu Grün empor. Das Präparat war also negativ.

Unsere Sammlung besitzt einen Längsschliff des Oberschenkelbeines des Frosches, in welchem die in Bezug auf dessen Längsachse orientirte Rindenmasse verhältnissmässig positiv und die von dieser eingeschlossene Marksubstanz verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen wirkt. Starke Vergrösserungen lehren, dass die letztere aus Fasern zusammengesetzt ist, die senkrecht zur Längsrichtung der Rindenmasse verlaufen.

§. 378. Die mit Haversschen oder Markkanälchen versehene Rinde der Röhrenknochen der Vögel und der Säugethiere bietet im Wesentlichen das Gleiche, wie die des Menschen dar. Wir wollen uns daher auf die Beschreibung der Verhältnisse des letzteren beschränken.

Ein auf die Längsachse senkrechter Querschliff zeigt die senkrecht durchschnittenen Markkanäle nahezu als Kreise, die schief getroffenen dagegen als ellipsenähnliche Gebilde, um welche eine grössere oder geringere Menge von Knochenblättern concentrisch herumgeht. Wollte man den Winkel, unter dem das Markkanälchen getroffen worden, kennen lernen, so liesse er sich aus dem Verhältniss der kleinen zur grossen Achse bestimmen, wenn man den Markkanal als einen Kreiscylinder betrachtete. Man hat über-

diess zwei Systeme von Einschaltungsblättern zwischen den concentrischen Blättersystemen. Die Knochenkörperchen gehen in der Tangentialrichtung, also in den concentrischen Blättern ebenfalls concentrisch und in den eben verlaufenden der Länge nach dahin.

§. 379. Jedes System concentrischer Blätter, dessen Durchschnitt auf der Längsrichtung des Markkanales senkrecht steht, zeigt in polarisirtem Lichte ein regelmässiges, bei allen Drehungen gleich bleibendes Kreuz, dessen Arme sich bei ihrer Verlängerung in dem Mittelpunkte des Lumens des Markkanales schneiden würden. Allein die wenigsten concentrischen Blättersysteme, die in einem solchen queren Knochenschliffe bemerkt werden, erfüllen die Bedingung der genau senkrechten Stellung auf der Längsachse des Markkanales. Man findet daher häufig, dass sich die verlängert gedachten Kreuzesarme schiefwinkelig treffen und die beiden spitzen und stumpfen Winkel mit den Azimuthen wechseln. Es gibt daher eine Stellung, in der alle vier Winkel Rechte bilden. Ein oder zwei Kreuzesarme erscheinen bisweilen blasser als die übrigen. Ihre Intensität ändert sich mit der Azimuthalstellung oder es treten nur zwei dunkele Linien statt vier auf. Die Aeste des Kreuzes besitzen ungleiche Längen, vorzugsweise bei elliptischer Vertheilung der Blätter oder in schiefen Schnitten. Manche werden auch wellig bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene.

§. 380. Hätte man hier Kreuze erster Ordnung (§. 229), ginge also die optische Achse parallel der Längsachse der Markkanäle dahin, so liesse sich bei der starken, schon durch den kohlensaueren und den phosphorsaueren Kalk bedingten Doppelbrechung und der Grösse der Systeme concentrischer Blätter erwarten, dass isochromatische Ringe auftreten werden. Ich habe nie eine Spur derselben wahrgenommen.

§. 381. Ein jedes System concentrischer Blätter eines solchen Querschliffes wirkt verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen, während die Kreuzesarme die Farbe des Gypsgrundes wie-

dergeben. Die letzteren ändern sich ebenfalls verhältnissmässig negativ unter dem Einflusse eines $^1/_4$ Glimmerblättchens.

§. 382. Das eine System von Einschaltungsblättern, das in einem Querschliffe des Oberschenkelbeines vorkommt und die Mehrzahl aller Einschaltungsblätter überhaupt bildet, ändert seine Lichtstärke mit den verschiedenen Azimuthalstellungen, das andere sparsamere dagegen bleibt schwarz oder ziemlich dunkel bei allen Drehungen in der wagerechten Ebene und gibt immer die Farbe des Gypsgrundes rein oder als vorherrschende Mischfarbe wieder. Das erstere System besteht aus durchschnittenen parallelen Markblättern, deren Dickendurchmesser die Oberfläche des Knochenschliffes unter geringer Neigung trifft oder in ihr selbst liegt. Ihre neutralen Linien befinden sich in der Richtung der Dicke und senkrecht darauf, was sich um so reiner darstellt, je weniger schief die Blätter durchschnitten worden. Ihre Längenrichtung wirkt verhältnissmässig positiv und ihre Dickenrichtung verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen. Setzt man die gleiche optische Beschaffenheit dieser Einschaltungsblätter und der concentrischen Blätter voraus, so folgt hieraus, dass wir auch hier einen einachsigen negativen Körper vor uns haben. Längsschliffe bestätigen das Gleiche. Man findet hier, wie schon an einzelnen Stellen von Querschliffen, Markkanäle, die nahezu parallel der Oberfläche verlaufen und deren durchschnittene concentrische Blätter parallel der Länge des Präparates dahingehen. Da sie sich wie die oben erwähnten Einschaltungsblätter verhalten, so ergibt sich, dass jene Zusammenstellung dieser Einschaltungsblätter und der concentrischen Blätter berechtigt war.

Liegt die zweite Klasse von Einschaltungsblättern isolirt und wagerecht, so sieht man keine lamellösen Begrenzungslinien, sondern eine gleichförmigere, fein gestrichelte oder punktirte Masse, die in allen Azimuthen dunkel bleibt oder die Farbe des Gypsgrundes rein wiedergibt. Es sind dieses die Knochenblätter von ihrer natürlichen Oberfläche und nicht von ihrer Durchschnittsfläche aus gesehen. Sie werden nicht selten von Einschaltungsblättern der ersten Art theilweise bedeckt. Man erhält daher die Mischfarbe

des Gypsgrundes und der veränderten Färbung. Diese Anschauungsweise erklärt auch noch ein drittes Verhältniss, dem man auf Quer- und auf Längsschliffen oft begegnet. Ein Blättersystem ist an einer Seite so schief getroffen, dass die Oberfläche der Platte einer mantelartigen Umhüllung durch die Oberfläche eines oder mehrerer Blätter an einzelnen Stellen entspricht. Diese Bezirke geben daher ebenfalls den Gypsgrund rein oder gemischt wieder. Der Länge nach orientirte Blätter, die schief zur Oberfläche durchschnitten worden, liefern natürlich steigende oder fallende Farben, je nachdem der Winkel der Schnittebene mit der der Dicke entsprechenden, auf der Oberfläche des Markblattes senkrechten Ebene grösser oder kleiner als 45° ist.

§. 383. Die Knorpelmasse der Epiphyse des Schienbeines einer neun Tage alten Katze wirkte negativ und die Knochenbalken positiv in Bezug auf die Längsrichtung des Knochens, wenn man einen feinen Längsschnitt untersuchte. Dasselbe wiederholte sich an dem Kopfe des Oberschenkels. Man kann daher die im Knorpel enthaltenen Knochenbälkchen durch die Farbe nach der Einschaltung eines Gypsblättchens erkennen.

Der Knochenknorpel des Oberschenkelbeines, das mit verdünnter Salzsäure seiner Kalksalze beraubt worden, liefert im Allgemeinen die gleichen Anschauungen, wie der frische Knochen. Die Doppelbrechung ist aber meistentheils etwas schwächer in dem feuchten Zustande. Sie wird durch das Trocknen merklich stärker. Der vorsichtig durch verdünnte Säure und längere Einwirkung dargestellte Knochenknorpel antwortet auf ein Gyps- und ein ¼ Glimmerblättchen verhältnissmässig negativ, wie der frische Knochen. Eine zufällig gemachte Beobachtung schien mir anzudeuten, dass die kräftigere Wirkung der Salzsäure dieses zu ändern vermag. Obgleich der kohlensauere Kalk als Kalkspath und als Aragonit und der phosphorsauere als Apathit negativ sind, so gestattet dieses doch noch nicht den Schluss, dass dieselben Salze auch als negative Körper in dem Knochen vorkommen müssen. Hat dieser aber eine stärkere Doppelbrechung als der schon negativ wirkende Knochenknorpel, so können jene Kalksalze nicht als

positive Körper hinzutreten. Glühte ich feine Querschliffe des Oberschenkels des Menschen, so erschien die Masse hellweiss auf dunkelem Grunde. Die Einschaltung eines rothen Gypsblättchens lehrte aber, dass die Doppelbrechung ausserordentlich gelitten hatte. Veraschte Längsschliffe wirkten theils positiv theils negativ in Bezug auf die Längsachse.

§. 384. Man würde irren, wenn man aus dem eben Dargestellten schliessen wollte, dass man nur eine äusserste Lamelle der Rindenmasse eines ebenen Knochens, wie des Nasenbeines, der Pflugschaar loslösen oder ein dünnes Knochenblatt der Markmasse zu sondern brauchte, um eine senkrecht auf die optische Achse geschliffene Knochenplatte zu haben. Alle diese Gebilde sind zusammengesetzter, als die mikroskopisch dünnen Markblätter, die wir aus dem Oberschenkelbeine näher betrachtet haben. Ein Flächenschliff des Nasenbeines oder ein dünnes Blättchen des Siebbeines oder der Markmasse eines Röhrenknochens erscheint nicht gleichförmig dunkel auf dem dunkelen Gesichtsfelde, sondern zeigt einzelne helle Flecke oder Punkte, die mit den Azimuthalstellungen wechseln. Die Einschaltung eines Gypsblättchens gibt noch vollständigeren Aufschluss. Die meisten Orte ändern die Farbe des Gypsgrundes und zwar einzelne erhöhend und andere erniedrigend. Unter mehreren Hundert Knochenschliffen, die ich bei diesen Studien untersuchte, stiess mir nur einer auf, der die rothe Farbe des Gypsgrundes in dem grössten Theile seiner Ausdehnung wiedergab. Es war ein oberflächlicher senkrechter Schnitt aus der noch getrennten Epiphyse der zweiten Phalange der grossen Zehe eines Menschen. Die die Querschnitte der Knochenblätter verrathenden parallelen Linien fehlten auch hier gänzlich.

§. 385. Feine senkrechte Schliffe der Wirbel des Hechtes liefern ein Beispiel, wie das polarisirte Licht Structurverhältnisse hervorhebt, die weit undeutlicher in gewöhnlichem Lichte erscheinen. Die Züge der Längs- oder Strahlen- und der sonst minder kenntlichen Querfasern unterscheiden sich sogleich nach der Ein-

schaltung eines Gypsblättchens von Roth erster Ordnung bei ±45°
durch ihre blauen und gelben Färbungen.

§. 386. Die Knochenmasse des Schwertes des Schwertfisches, deren neutrale Richtungen wiederum nach der Länge und der Quere der Fasern dahingehen, besitzt eine so kräftige Doppelbrechung, dass Präparate, die für die mikroskopische Untersuchung dünn genug sind, schon ohne Weiteres blaue, gelbe und zum Theil rothe Farben lieferten. Die Einschaltung eines Gypsblättchens erzeugte eine grössere Farbenpracht. Die von mir untersuchten Schliffe von Torfknochen des Hirsches und des Schweines aus der Umgebung der Pfahlbauten von Moosseedorf boten eine merklich schwächere Doppelbrechung als frische Knochen dar.

§. 387. Ein Längsschliff der verknöcherten Achillessehne des Kalbes schien seine neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach zu haben, wenn man ihn mit blossem Auge oder unter schwacher Vergrösserung untersuchte. Die Einschaltung eines Gypsblättchens führte aber wieder zu Blau und Gelb selbst in dem Azimuthe 0° oder 90°. Die Orientation der Längsachse unter —45° gab nur Gelb oder Orangegelb und die unter +45° Blau oder Grün, wenn die Achsenebene des Gypsblättchens unter +45° eingestellt war. Die Masse enthielt ein vollständiges System von Markkanälen mit zahlreichen Knochenkörperchen.

§. 388. Die rothen Knochen einer Taube, die mit Krapp gefüttert worden, hatten ihre Doppelbrechung bewahrt. Querschliffe wirkten ebenfalls verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen. Die Knochenbälkchen des Ellenbogenbeines einer ägyptischen Mumie des Menschen und Längsschliffe des Oberschenkels einer solchen des Chamäleon verriethen denselben Charakter ihrer starken Doppelbrechung, wie die heutigen Knochen.

§. 389. Die Bälkchen, welche auf den concentrischen Linien des Sepienknochens senkrecht stehen, haben ihre centralen

Achsen der Länge und der Quere nach und liefern schon ohne Weiteres lebhafte Farben in den Azimuthalstellungen unter $\pm 45^0$.

§. 390. Ein Querschliff des oberen Theiles des Zahnes von *Crocodilus biporcatus*, der eine nur kleine, dem Hohlraume entsprechende Unterbrechung in der Mitte darbietet, zeigt schon dem freien Auge und noch deutlicher unter schwacher Vergrösserung einen innersten dunkelen Ring und ein die übrige ächte Zahnsubstanz oder das Dentin und den Schmelz durchsetzendes dunkeles Kreuz, dessen Form sich bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene wenig ändert. Da die unter $\pm 45^0$ lebhaft silberglänzenden Schmelzfasern in radialer Richtung dahingehen, so folgt, dass ihre neutralen Linien der Länge und der Quere nach verlaufen. Beide Massen, das Dentin und der Schmelz antworten verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen, während der innerste, früher dunkele Ring den Gypsgrund wiedergibt. Die stärkere Doppelbrechung des Schmelzes verräth sich auch bei dieser Prüfungsweise. Nimmt man nämlich ein Gypsblättchen von Roth erster Ordnung (Werth 565 §. 174), so steigt die Farbe z. B. in dem Dentin zu Blau (664), im Schmelze dagegen zu Blaugrün (728) und sinkt in jenem zu Hellgelb (306) und in diesem zu Gelblichweiss (267). Ein mit seiner Längsachse unter $\pm 45^0$ orientirter Längsschliff des Dentins wirkt wiederum verhältnissmässig positiv. Die Masse verhält sich also, wie die eines Knochens.

§. 391. Zahnschliffe aus dem Menschen und den Säugethieren, z. B. dem Pferde und dem Murmelthiere, verrathen ebenfalls sogleich, dass der Schmelz weit nachdrücklicher doppelt bricht, als das Dentin und das Cäment. Er erscheint immer als ein hell leuchtendes weisses Band neben den anderen weniger weissen Massen. Man hat in dieser Hinsicht das schönste Bild an einem vollständigen Querschliffe eines Backzahnes des Pferdes. Die in sich zurücklaufenden welligen Schmelzbänder glänzen an einzelnen Stellen weiss und liefern an anderen die schönsten Farben. Die Einschaltung eines Gypsblättchens erhöht noch das Reizende des Anblickes. Die Schmelzfasern zeichnen sich auch durch die

Lebhaftigkeit ihrer Färbungen unter stärkeren Vergrösserungen aus.

§. 392. Ein genau senkrecht auf die Kronenfläche geführter Längsschnitt eines Schneidezahnes des Menschen oder des Pferdes lehrt, dass die Grundmasse des Dentins bei 0° und 90° der Stellung der Längsrichtung der Zahnwurzel oder des Zahnes überhaupt am dunkelsten und bei ± 45° am hellsten erscheint. Man erkennt die hohlen Zahnröhren an vielen Orten leichter in dem ersteren, als in dem letzteren Falle. Das Dentin pflegt stärker, als die benachbarte, die Wurzel umhüllende Cämentmasse zu leuchten. Orientirt man einen gut gefertigten Längsschliff nach der Längsachse des Zahnes, so wirkt er wieder verhältnissmässig positiv und die Drehung um diese Längsachse lässt die Farbe sinken und die um die Querachse dieselbe steigen. Es ist für dieses Verhältniss natürlich gleichgültig, wie die Zahnröhrchen verlaufen. Viele Quer- oder Längsschliffe der Zähne zeigten die von den gegenseitigen Lagenbeziehungen an der Durchschnittsstelle abhängige Erscheinung, dass die benachbarten Bezirke des Dentins und des Schmelzes oder jenes und des Cämentes die Wirkung eines Gypsblättchens entgegengesetzt beantworteten.

Das Dentin und der Schmelz eines fossilen Rhinoceroszahnes verhielten sich wie die gleichen Massen eines Säugethieres der Jetztwelt.

IX. Zell- oder Bindegewebe, Sehnen und elastisches Gewebe.

§. 393. Brewster[1] führt einzelne Bindegewebs- und Sehnengebilde und das Pergament unter den doppelt brechenden Körpern auf. Es lag aber wahrscheinlich in den damaligen unvollkommeneren Hilfsmitteln, wenn er die Fähigkeit der Doppelbrechung der Sclerotica eines Fisches und der Knorpelhaut der Rippen absprach[2].

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1815. p. 35—40.
2. Brewster, Ebendaselbst p. 43.

ERLACH[1] beschrieb die Doppelbrechung der Sehnen und der diesen ähnlich wirkenden Fasergewebe. W. MÜLLER[2] fand, dass die des Bindegewebes bei dem Härten in Chromsäure, nicht aber bei dem in Blei- oder Quecksilbersalzen und dem Gerben verloren ging, nach einem Zusatze von Säuren ab- und nach der Sättigung derselben mit Ammoniak wiederum zunahm. Sie wuchs auch für das elastische Gewebe durch das Trocknen oder durch die Entziehung des Wassers vermittelst Weingeistes oder Aethers. Da MÜLLER[3] bemerkt zu haben angibt, dass Querschnitte der Sehnen oder der elastischen Fasern, die auf der Längsachse genau senkrecht stehen, in allen Azimuthen dunkel bleiben, so verlegt er die Sehachse in die Längsrichtung und hält demgemäss die in Bezug auf diese verhältnissmässig positiv wirkenden Fasern für wahrhaft positiv. Das elastische Gewebe behält nach ihm[4] seine Doppelbrechung nach der Behandlung mit Essigsäure oder Alkalien, verliert sie dagegen durch die mit Barytwasser oder durch längeres Kochen. METTENHEIMER[5] erläuterte durch Wort und Abbildungen die Interferenzerscheinungen, welche die Wellenbiegungen der natürlichen oder der künstlichen Längsschnitte der Sehnen in polarisirtem Lichte darbieten.

§. 394. Das losgetrennte und ausgebreitete Dünndarmgekröse eines frisch getödteten Frosches erscheint weisslich glänzend in dem dunkelen Gesichtsfelde des Polarisationsmikroskopes. Seine Bindegewebsmasse leuchtet weniger, als die ihrer Länge nach unter $\pm 45^0$ gestellten Wände der Blutgefässe, die dann die geringste Lichtstärke unter 0^0 oder 90^0 darbieten. Das in den Gefässen enthaltene Blut wird durch seine rothe Farbe erkannt, wenn selbst das Präparat auf dem polarisirenden Nicol unmittelbar aufliegt und man alles Seitenlicht durch die Deckröhre möglichst ab-

1. ERLACH in Müllers Arch. 1847. S. 322.
2. W. MÜLLER a. a. O. S. 184.
3. W. MÜLLER a. a. O. S. 177. 178. 184.
4. W. MÜLLER a. a. O. S. 180.
5. METTENHEIMER in Reichert und du Bois Archiv. 1860. S. 354—360.

hält. Orientirt man die Achsenebene eines eingeschalteten Gypsblättchens nach der Längsrichtung der Blutgefässe, so wirken die Wände von diesen verhältnissmässig positiv. Man sieht zugleich ähnliche in paralleler Lage auftretende Farbenänderungen in vielen Bezirken des Gekröses. Sie erreichen die grösste Stärke an Faltungsstellen. Entschiedene in bestimmten einseitigen oder gekreuzten Richtungen dahingehende Faserzüge, die sonst durch die Aenderung der Farbe des Gypsgrundes so nachdrücklich verrathen werden, kommen nicht zum Vorschein. Abgesehen von den Farben zeigt sich bei stärkeren Vergrösserungen nicht wesentlich mehr, als in gewöhnlichem Lichte. Das Steigen und Sinken der Färbungen richtet sich immer nach der Längsrichtung der scheinbaren Fasern oder Falten. Hat man das Ganze mit Essigsäure durchsichtiger gemacht, so nimmt die Doppelbrechung merklich ab, lässt sich aber immer noch erkennen, so lange der Bau nicht gänzlich zerstört ist. Die zahlreichen dann sichtbaren Kerngebilde oder Bindegewebskörperchen heben sich auf dem dunkelen Grunde von der Grundmasse sichtlich ab, was man auch schon ohne Essigsäure an geeigneten Stellen, jedoch seltener bemerkt. Steht aber selbst ihre Längsachse unter ± 45°, so ändern sich die Farben des Gypsgrundes in keiner irgend auffallenden Weise. Sie enthalten also keine nachdrücklich doppelt brechende Masse.

§. 395. Das frische zerfaserte Bindegewebe, z. B. des Unterhautzellgewebes des Menschen, verhält sich im Wesentlichen ähnlich. Die gröberen Bündel und die feineren Fäden haben ihre neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach und wirken wiederum verhältnissmässig positiv, wenn man die Orientation nach der Längsachse vornimmt. Untersucht man die Fettzellen des Unterhautzellgewebes eines älteren Leichnames, so ändert jede einzelne die Farbe des Gypsgrundes. Die Erscheinung wird noch auffallender, wenn sie haufenweise neben und über einander liegen. Die Ursache liegt theils in der Doppelbrechung der Bindegewebshüllen und zum Theil in der durch die niedere Temperatur bedingten Krystallisation des Fettinhaltes. Die Doppelbrechung ist daher in frischem Zustande geringer. Ich finde z. B. gar keine

oder eine nur unbedeutende Farbenänderung bei der Untersuchung des Fettkörpers frischer Frösche.

§. 396. Präparate des Unterhautzellgewebes eines Neugebornen, die ich trocknen liess und dann in Canadabalsam einschloss, besassen eine merklich stärkere Doppelbrechung, als die frischen Massen. Die nach der Einschaltung des Gypses auftretenden Färbungen der Fettzellen wurden ebenfalls lebhafter. Einzelne fein gefaltete Bezirke lieferten abwechselnd helle und dunkele Streifen, Fig. 77, die mit den ähnlichen Formen der quer gestreiften Muskeln übereinstimmen. Hatte ich die Achsenebene des Gypsblättchens von Roth erster Ordnung unter $\pm 45^0$ parallel der Längsachse des welligen Zellgewebebündels eingestellt, so erschienen die meisten Querbänder blauroth und die meisten Zwischenbänder roth, einzelne dagegen gelb. Die Orientation -45^0 zeigte jene sämmtlich gelb und diese roth, endlich die 0^0 oder 90^0 unregelmässig abwechselnd blau und gelb. Prachtvolle Querbänder der Art lieferten die in den verschiedensten Richtungen verlaufenden Zellgewebbündel eines feinen Schnittes der in Weingeist aufbewahrten Haut des Wallfisches.

Fig. 77.



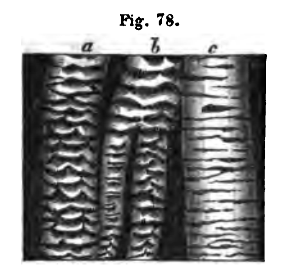
§. 397. Unterhautzellgewebe des Erwachsenen, das Jahre lang in Weingeist gelegen hat, bewahrt seine Doppelbrechung, seine in Bezug auf die Länge der Fasern positive Wirkung und die durch die elastische Zurückziehung bedingten Wellenbiegungen, welche die hellen und dunkelen Bänder in polarisirtem Lichte hervorrufen.

§. 398. Was von dem Bindegewebe gesagt worden, gilt auch von allen Theilen, die aus Bindegewebmassen zusammengesetzt werden, z. B. der Lederhaut und der harten Haut des Auges. Man kann sich dünne Schnitte des stark brechenden Coriums am besten bereiten, wenn man einen Finger oder ein Stück der Haut der Fusssohle eines Erwachsenen eintrocknen lässt und die später verfertigten senkrechten Schnitte in Canadabalsam oder

Terpentinöl untersucht. Die Faserbündel der Lederhaut einer ägyptischen Chamäleonmumie gaben lebhafte eigenthümliche Farben auf dem Gypsgrunde.

§. 399. Die dünneren und die dickeren Sehnenbündel zeigen ähnliche Erscheinungen, wie die Zellgewebebündel und wirken ebenfalls verhältnissmässig positiv, wenn man von ihrer Längsachse ausgeht. Die hier noch häufiger als im Bindegewebe auftretenden Wellenbiegungen der Oberfläche zeichnen sich sehr scharf auf dem dunkelen Gesichtsfelde durch ihr Hell und Dunkel ab, geben dabei unregelmässigere (*a* und *b*) oder regelmässigere Bilder (*c* Fig. 78), wechseln ihre Lichtstärke mit den Azimuthalstellungen und sind z. B. bisweilen unter 0^0 und 90^0 der Längsachse am deutlichsten, unter $\pm 45^0$ dagegen am wenigsten scharf, oder umgekehrt. Sie erzeugen oft sehr lebhafte verschiedene Färbungen, vorzugsweise bei dickeren Bündeln. Ich erhielt die prachtvollsten Farbenbänder an Bündeln der Sehne des gemeinschaftlichen oberflächlichen Fingerbeugers des Erwachsenen, die ich eine Woche lang in Terpentinöl aufbewahrt hatte. Trocknete ich die Sehnen dieses Fingerbeugers, so gaben gute in Canadabalsam eingeschmolzene Längsschnitte die schönsten farbigen oder dunkelen Querbänder. Die gleiche Behandlung der in der Fusssohle des Frosches dahingehenden Sehnen der Zehenbeuger führte zu sehr lebhaften Flächenfarben oder Farbenflecken.

Fig. 78.



§. 400. Querschnitte der getrockneten Sehnen des oberflächlichen gemeinschaftlichen Fingerbeugers der Erwachsenen, die möglichst senkrecht auf der Längsachse verfertigt worden, änderten ihre Lichtstärke an den meisten Punkten mit den verschiedenen Azimuthalstellungen. Die sparsamen Bezirke, welche dunkel zu bleiben schienen, bewährten sich zum grössten Theile nicht nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, da sie dann die Farbe des Grundes nicht rein oder selbst vollkommen verändert wiedergaben.

Nur einige wenige kleine Bezirke schienen eine Ausnahme zu machen. Entweder war hiernach die Hauptmasse der getrockneten Sehne zweiachsig oder der Schnitt hatte die meisten Fäden und Bündel nicht genau senkrecht getroffen. Die Beschaffenheit des Präparates machte das letztere weniger wahrscheinlich, als das erstere. Die zum Theil verästelten dunkelen Streifen, welche solche getrocknete Sehnenquerschnitte darbieten und die als Punkte unter schwachen Vergrösserungen erscheinen, bleiben in polarisirtem Lichte, wie sie in gewöhnlichem erschienen sind.

Die aus der Handfläche einer ägyptischen Mumie entnommenen Proben der Sehnen der Fingerbeuger hatten eine sehr starke Doppelbrechung, die weit beträchtlicher als in den Muskeln des Vorderarmes derselben Person ausfiel. Manche Bündel lieferten die schönsten silberhellen und dunkelen Querbänder auf dem dunkelen und prachtvolle blaue oder gelbe und rothe Streifen auf dem rothen Gypsgrunde in verschiedenen Azimuthen.

§. 401. In Canadabalsam eingeschmolzene Querschnitte des trockenen Nackenbandes des Pferdes führten zu demselben Ergebnisse, wie die der Sehnen, nur dass die Orte, welche die Farbe des Gypsgrundes bei irgend einer Azimuthalstellung unverändert wiedergaben, noch seltener waren. Dünne Längsschnitte zeigten wiederum die neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach, verriethen immer die positiven Wirkungen auf ein Gypsblättchen in Bezug auf die Längenrichtung, und boten an einzelnen Stellen Wellenbiegungen dar, die dunkele und helle, sich mit den Azimuthalstellungen ändernde Querstreifen erzeugten und prachtvolle abwechselnde Farben nach der Einschaltung eines Gypsblättchens lieferten.

§. 402. Nicht nur die elastischen Fasern des frischen Nackenbandes des Pferdes, sondern auch die des nur schwach ausgebildeten des Menschen, das seit Jahren in Weingeist aufbewahrt worden, verrathen eine kräftige Doppelbrechung mit positiver Wirkung in Bezug auf die Längsrichtung. Ebenso kann man noch die gleiche Eigenschaft der von der Mittelhaut der Aorta abgezoge-

nen Querbänder an Weingeistpräparaten wahrnehmen. Die Wirkung ist auch hier verhältnissmässig positiv, wenn man nach der Länge, d. h. nach dem kreisförmig um das Gefäss herumgehenden Theile des Präparates orientirt. Man bemerkt übrigens und zwar am besten nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, dass nicht bloss die Fasern, sondern auch die durchsichtigen, mit ihnen verbundenen Häute und die sogenannten gefensterten Membranen die Fähigkeit der Doppelbrechung besitzen.

X. Hornhaut, Sclerotica, Linse und Glaskörper.

§. 403. Brewster[1] führt schon die Hornhäute des Menschen, der Kuh und der Fische unter den doppelt brechenden Gebilden auf und erwähnt Ringe, welche die erstere und das Kreuz[2], das die letztere gezeigt hat. His[3] beschrieb die Erscheinungen, welche senkrechte und Flächenschnitte der Hornhaut darbieten. Er und W. Müller[4] konnten keine Doppelbrechung an der Haut der wässrigen Feuchtigkeit auf dem dunkelen Grunde des Polarisationsmikroskopes oder nach der Einschaltung eines die empfindliche Farbe (§. 223) gebenden Gypsblättchens bemerken.

§. 404. Die frische Hornhaut der Menschen liefert in der Regel ein Kreuz, das bei allen Drehungen des Präparates in seiner Ebene unverändert bleibt. Ich stiess jedoch auch auf die verhältnissmässig negativ wirkende Hornhaut einer vor vier Tagen gestorbenen Frau und die der dreitägigen Leiche eines Mannes, deren Kreuze bei dem Drehen in zwei Hyperbeln auseinander gingen. Diese die zweiachsige Beschaffenheit verrathende Figur findet sich in der Regel an getrockneten Hornhäuten, die sie jedoch nur dann unmittelbar darbieten, wenn das Präparat die nöthige Dicke trotz des Eintrocknens bewahrt hat (§. 240) und nicht gerunzelt oder faltig zusammengelegt ist.

---

1. Brewster. *Phil. Transact.* 1815. p. 40. 41.
2. Brewster, *Phil. Transact.* 1816. p. 315.
3. W. His, Beiträge zur normalen und pathologischen Histologie der Cornea. Basel 1856. 4. S. 30–32.
4. W. Müller a. a O. S. 179.

§. 405. Der Uebergang in einen zweiachsigen Körper kann auch bei dem Aufenthalte in Glycerin vorkommen. Die Hornhaut eines $4\frac{1}{2}$jährigen Kindes, dessen ganzes Auge ich in Glycerin gelegt hatte, zeigte z. B. zwei dunkele Hyperbeln mit einem sehr schönen Farbenringe im Umkreise.

§. 406. Ein solcher vollständiger oder unvollständiger Ring findet sich bisweilen in frischen Hornhäuten des Menschen. Er bildet ein einfaches schwarzes, von dem Hornhautrande etwas abstehendes Kreisband, wenn man mit einem rothen Ueberfangglase untersucht, zeigt dagegen von innen nach aussen z. B. Roth, Orange, Gelb, Blau, Gelb, Grün und Roth in weissem Lichte. Die Betrachtung mit freiem Auge lehrt schon, dass man es hier mit keinem streng isochromatischen Ringe zu thun hat. Die Untersuchung unter schwachen Vergrösserungen zeigt eine Menge ungleich vertheilter Farbenflecke.

§. 407. Dickere frische Hornhäute, z. B. des Pferdes oder des Rindes, bieten bisweilen regelmässige oder unregelmässige Farbenringe oder Bruchstücke derselben ohne dunkeles Kreuz dar. Ist die Hornhaut gefaltet, in kleinere Theile zerschnitten oder sonst in Unordnung gebracht, so sieht man meist nur unregelmässige dunkele oder farbige Streifen oder Flecke. Hornhäute des Menschen, die man mit möglichster Beibehaltung ihrer natürlichen Wölbung getrocknet hat, bieten hin und wieder gar keine Farben dar, zeigen aber einen dunkelen rhombischen, in vier Spitzen auslaufenden Fleck, der sich mit den verschiedenen Azimuthalstellungen wenig ändert.

§. 408. Hatte ich die frische oben erwähnte Hornhaut einer Frau, die zwei Hyperbeln gab, in der Mitte getheilt, so lieferte jede Hälfte einen dunkelen halben Rhombus mit mittlerer Spitze. Solche Trennungen vernichten aber auch alle Regelmässigkeit der Figur in anderen Fällen.

§. 409. Das Kreuz und die von ihm eingeschlossenen Qua-

dranten der frischen oder der getrockneten Hornhaut des Menschen antworten verhältnissmässig negativ auf ¼ Glimmerblättchen und ein Gypsblättchen. Das letztere ruft auch noch die gleiche Wirkung in Hornhäuten hervor, die kein Kreuz erkennen lassen. Die angeführte halbe Hornhaut mit rautenförmigem dunkelm Flecke wirkte ebenfalls verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen oder ein ¼ Glimmerblättchen.

§. 410. Hatte ich einen dünnen senkrecht durch die Hornhaut mit dem Doppelmesser geführten Schnitt so gelagert, dass seine Länge oder schärfer ausgedrückt die Richtung der Tangentenebene der der Länge nach getrennten Blätter der Achsenebene des Gypsblättchens parallel stand, so wirkten jene verhältnissmässig positiv. Betrachtete man das Kreuz als ein solches erster Ordnung, so dass die optische Achse längs der Dicke der Hornhaut dahinginge, so würden sich die verhältnissmässig negative Wirkung der Quadranten und die verhältnissmässig positive bei der Orientation nach der Tangentenebene zu dem Beweise verbinden, dass die Hornhaut wahrhaft negativ ist. Jede Normale einer Tangentenebene müsste dann einer optischen Achse entsprechen. Zieht man eine sogenannte Lamelle der Hornhaut, die immer noch eine grosse Zahl mikroskopischer über einander liegender Blätter enthält, ab, und denkt man sich dieselbe annäherungsweise als einen Abschnitt, der von zwei concentrischen Kugelflächen begrenzt ist, so neigt sich die optische Achse von Punkt zu Punkt immer mehr. Sucht man, wie gewöhnlich, ein solches Stück, um einen grösseren Bezirk im Focus zu haben, flächenartig für die mikroskopische Untersuchung auszubreiten, so werden die meisten (oben angenommenen) optischen Achsen umgelegt. Ein solches Hornhautstück wiederholt auch in der That fast nirgends die Farbe des Gypsgrundes in allen Azimuthen, man mag es frisch, oder getrocknet und in Canadabalsam eingeschmolzen untersuchen. Manche Präparate zeigen dabei einen Farbenwechsel, der sich auf keine bestimmte Regel zurückführen lässt. Andere dagegen scheinen wenigstens vorherrschend eine verhältnissmässig positive Wirkung zu liefern, wenn man nach der Längsrichtung der Hornhautfasern einstellt.

§. 411. Die von der Fläche betrachteten, in Glycerin aufbewahrten Hornhäute der beiden Augen des Rückenschildes des europäischen Scorpiones lieferten vier verhältnissmässig negative Quadranten nach der Einschaltung eines Gypsblättchens von Roth erster Ordnung.

§. 412. Die harte Haut zeigt die starke Doppelbrechung des Bindegewebes. Flächen- und senkrechte Schnitte der getrockneten, in Canadabalsam aufbewahrten Sclerotica bilden Präparate, die den Gypsgrund ebenso lebhaft ändern, als die der Hornhaut.

§. 413. Die ersten Beobachtungen über das Kreuz und die Ringe der Krystalllinse rühren von BREWSTER[1] her. ERLACH[2] bestätigte die Anwesenheit des Kreuzes in frischen Linsen der Säugethiere und THOMAS[3] führte zuerst das Verfahren ein, Präparate mit Kreuzen und schönen isochromatischen Ringen aus getrockneten Fischlinsen darzustellen. Da eine bei Gelegenheit der Ausarbeitung dieses Werkes vorgenommene Durchmusterung der hierher gehörenden älteren Präparate alle Thatsachen, die in meinen Aufsätzen über die Polarisationserscheinungen der Krystalllinsen[4] und die Aenderung des Charakters der Doppelbrechung derselben[5] enthalten sind, bestätigte, so verweise ich der Kürze wegen auf die in jenen Arbeiten gegebenen Beschreibungen der verschiedenen Formen und der Aenderungen von diesen durch doppelt brechende Einschaltungsmassen und beschränke mich darauf, nur Neues, das mir indessen aufgestossen, hinzuzufügen.

§. 414. Die frischen Linsen bieten die Kreuzfigur erst dann dar, wenn sie sich etwas zu trüben angefangen haben. Sie zeigen

1. BREWSTER, *Phil. Transact.* 1816. p. 311—315.
2. ERLACH in Müllers Arch. 1847. S. 335—37.
3. THOMAS, Prager Vierteljahrsschrift. Jahrgang XI. 1854. Bd. I. Ausserordentl. Beilage S. 7—23. BRÜCKE in den Sitzungsber. d. Wien. Akademie. Bd. VI. 1851. S. 286—87. CZERMAK in Siebold und Köllikers Zeitschr. Bd. VII. 1855. S. 185—92.
4. GRÄFE, Arch. für Ophthalm. Bd. IV. 1858. S. 227—268.
5. Ebendaselbst Bd. VII. 1861. S. 88—93.

aber fast nie isochromatische Ringe. Ein Zufall führte mich zu einem Verfahren, ein oder zwei Ringe in feuchten Säugethierlinsen zum Vorschein zu bringen. Wir werden aber sogleich sehen, dass diese aus anderen Ursachen als die gewöhnlichen isochromatischen Ringe einer durch und durch positiven oder negativen Masse hervorgehen. Ich liess vier Rindsaugen ungefähr einen Monat lang liegen, so dass die Selbstzersetzung ziemlich eingegriffen hatte. Eine der Linsen war in ihren Rindenschichten nach den bekannten unter je 120° zusammenstossenden drei Linien an der vorderen Seite auseinander gegangen und lieferte keine regelmässige Figur. Die Betrachtung der anderen lehrte, dass zwei von ihnen ein Kreuz in der Mitte darboten. Ungefähr ¼ des Halbmessers von dem Umkreise entfernt fand sich ein breiter blauschwarzer regelmässiger Ring[1] und nach aussen von ihm nur eine matte Fortsetzung des inneren Kreuzes. Von zwei Rindslinsen, die zwei Tage nach dem Tode ausgeschnitten worden, lieferte die eine ganz das Gleiche; die andere dagegen, nachdem sie 24 Stunden in Wasser gelegen hatte, einen inneren und einen äusseren blauschwarzen schmalen Ring. Die verschiedenen Azimuthalstellungen erzeugten nur unbedeutende Formunterschiede. Wir werden sogleich sehen, dass diese Erscheinungen mit den Aenderungen des Charakters der Doppelbrechung zusammentreffen. Faulende Linsen des Menschen, des Hundes, des Pferdes haben mir bis jetzt nichts der Art dargeboten.

§. 415. Da die frischen Linsen verhältnissmässig positiv auf ein Gyps- oder ein ¼ Glimmerblättchen wirken, so musste es mich um so mehr befremden, dass mir die sechs Linsen dreier Pferde, die ich ungefähr acht Tage nach dem Tode untersuchte, einen negativen Charakter bei jener doppelten Probe verriethen (§. 242). Die Linse eines eben so alten Leichnams eines neugeborenen Füllens, dessen Blutgefässe ausgespritzt worden und das daher lange in warmem Wasser gelegen hatte, verhielt sich positiv und ebenso

1. Die von BREWSTER gegebenen Abbildungen (*Phil. Transact.* 1816. Pl. XII. Fig. I bis IV. copirt bei RADICKE a. a. O. Bd. I. Taf. III. Fig. 108—111) scheinen nach solchen Fischlinsen entworfen zu sein.

die eines neugeborenen Kindes, das vor beinahe drei Wochen gestorben war.

§. 416. Die oben erwähnten Linsen des Rindes führten zu dem Schlusse, dass es eine gewisse Stufe der Selbstzersetzung gibt, die wenigstens einzelne Schichten der Linsenmasse aus dem positiven in den negativen Charakter überführt. Die zwei Tage alte Linse, welche das blaue Ringband lieferte (§. 414), antwortete positiv mit ihrem Kreuze gegen $^1/_4$ Glimmerblättchen und ebenso mit ihren Quadranten gegen ein Gypsblättchen. Dieses letztere erzeugte aber eine negative Wirkung längs des Ringbandes und eine positive ganz nach aussen im Umkreise. Eine der älteren Rindslinsen gab den innersten Kreuzbezirk positiv, ein Ringstück innerhalb des Ringbandes negativ, dieses Ringband selbst positiv und den äussersten Umkreis negativ. Die mit dem doppelten Ringe lieferte den mit dem Kreuze versehenen Centraltheil positiv, den Raum zwischen dem inneren und dem äusseren Ringe negativ und den äussersten Umkreis positiv. Man sieht, dass hier kein regelmässiger Fortgang von innen nach aussen oder umgekehrt bei der Aenderung des Charakters der Doppelbrechung stattfand. Da ein positiver und ein negativer Körper entgegengesetzte Gangunterschiede darbieten, so kann man sich die blauschwarze Ringbildung dadurch erklären, dass Schichten von gleichen, aber nahezu entgegengesetzten Phasen über einander liegen. Man hat also das Gleiche, wie in den dunkelen Linien bei gekreuzter Verdoppelung des Quarzes (§. 211).

Die Rindslinse, deren vordere Schichten in drei unter 120° stehende Stücke in Folge der Fäulniss zersprungen waren und die sechs nicht klaffende Sprungradien an der Hinterfläche darbot, war in dem ganzen von der Rinde entblössten Theile verhältnissmässig negativ. Eine andere ebenso durch Fäulniss erweichte Linse erschien innen positiv, aussen dagegen unregelmässig negativ, indem die Farben nicht scharf quadrantenmässig vertheilt waren.

Diesen durch die tiefe Fäulniss oder das Eintrocknen (§. 241) bedingten Wechselerscheinungen gegenüber kann ich anführen, dass sich der positive Charakter der halbtrockenen, in Canadabal-

18*

sam aufbewahrten Linsen Jahre lang erhält. Ebenso gab eine in Glycerin hart gewordene Linse eines 4½jährigen Kindes nicht nur die verhältnissmässig positive Wirkung im Ganzen, sondern in relativ dünnen Schichten senkrechter Schnitte, die man unter dem Mikroskope untersuchen musste. Ebenso war die sehr weiche Linse des oben erwähnten drei Wochen alten Kindesleichnams verhältnissmässig positiv.

§. 417. Da die Einschaltung eines Gypsblättchens die Farbe in zwei Quadranten steigen und in zwei anderen sinken lässt, wenn die ganz frische Linse noch kein dunkeles Kreuz darbietet, so folgt, dass diese Wirkung, die der zweier ausgezeichneter Ebenen (§. 59) entspricht, durch den Bau der Linse von vorn herein gegeben ist.

§. 418. So prachtvolle Bilder die Linsen im Ganzen liefern, so wenig befriedigen die dünnen aus ihnen verfertigten Präparate, die man aus frischen oder älteren, in Wasser, Glycerin oder Terpentinöl aufbewahrten Exemplaren angefertigt hat. Die Doppelbrechung dünner Schnitte, z. B. der Linse eines kurz vorher getödteten Frosches, in denen die Linsenfasern kenntlich sind, fällt so gering aus, dass man noch nach der Einschaltung eines Gypsblättchens zweifeln kann, ob die Farbe des Grundes verändert wird oder nicht. Die Kugeln der oberflächlichen Lagen dagegen änderten deutlich das Roth in Gelb um. Die Fasern der halbtrockenen Rindslinse schienen spurweise positiv im Verhältniss zu ihrer Längsrichtung, die eine der neutralen Richtungen ist, zu wirken. Alle Arten von Linsenfasern (Mensch, Säugethiere, Frosch), welche die Farbe eines Gypsblättchens nicht deutlich ändern, wenn sie wagerecht liegen, erscheinen mattweiss auf dem dunkelen Grunde des Polarisationsmikroskopes. Sie verrathen dagegen eine starke Doppelbrechung und lassen die Farbe des Gypsgrundes wechseln, wenn man sie vollständig ausgetrocknet und dann in Canadabalsam eingeschlossen hat. Ich kenne kein Gewebe, in dem der Wasserverlust einen so bedeutenden Unterschied der Stärke der Doppelbrechung, als in solchen kleinen Bruchstücken der Linse erzeugt.

§. 419. Der Glaskörper und die Glashaut ändern fast gar nicht die Farbe des Gypsgrundes. Selbst der umgeschlagene Rand erzeugt häufig keine deutlichen Wirkungen sogar nach dem Eintrocknen des Ganzen. Ich konnte auch nicht bemerken, dass der Glaskörper des Rindes eine Drehung der Polarisationsebene herbeiführte. Die von Pigment befreiten strahligen Ciliarfalten des menschlichen Auges leuchteten schon auf dem dunkelen Gesichtsfelde und erschienen blau und gelb auf dem rothen Gypsgrunde.

XI. Muskeln.

§. 420. Brewster[1] führt das Fettwachs aus der Muskelmasse als doppelt brechend auf, scheint aber diese letztere nicht genauer untersucht zu haben. Erlachs[2] Darstellung lehrte, dass die quer gestreiften Muskelfasern abwechselnd helle und dunkele Stellen auf dem dunkelen Grunde des Polarisationsmikroskopes darbieten. Er bestimmte die neutralen Richtungen derselben als der Länge und der Quere nach verlaufend. Brücke[3] verlegt die optische Achse der Muskelfasern in die Längsrichtung derselben, weil kein Grund vorhanden sei, die Muskelmasse als zweiachsig zu betrachten und Querschnitte von Froschmuskelfasern, die in absolutem Weingeist erhärtet, dann mit Terpentinöl durchtränkt und in Damarfirniss eingeschlossen worden, in allen Azimuthen dunkel blieben, wenn sie auf der Längsrichtung genau senkrecht standen (§. 178). Da die Prüfung mit zwei Quarzkeilen (§. 210) ergab, dass die der optischen Achse des Quarzes parallele Stellung der Längsrichtung der Muskelfasern wie eine Verdickung wirkte, so folgt, dass die Muskelfasern positiv sind, wenn die Längsrichtung der optischen Achsenrichtung entspricht. Mohl[4] trat dieser Auffassungsweise mit der Anzeige entgegen, dass die Muskelfasern seinen Beobachtungen zufolge negativ seien.

---

1. Brewster, *Phil. Transact.* 1815. p. 34.
2. Erlach in Müllers Arch. 1847. S. 336.
3. Brücke, Denkschriften der Wiener Akademie. Bd. XV. Wien 1858. S. 72.
4. H. Mohl, Botanische Zeitung. 1858. S. 375.

Ich hatte schon bemerkt, dass der Farbenwechsel, den die Muskelfasern bei der Verkürzung unter dem Polarisationsmikroskope darbieten, von der Dicke herrühren kann und noch keinen Beweis für den Wechsel der doppelt brechenden Kräfte abgibt. Brücke[1] kommt zu dem gleichen Ergebnisse und stellt überhaupt jede merkliche Aenderung der optischen Constanten während der Zusammenziehung in Abrede[2]. Die Doppelbrechung verliert sich dagegen durch das Kochen oder das Aufquellen der Muskelmasse in Kali, Natron, Essigsäure oder sehr verdünnter Salzsäure[3].

Brücke[4] nimmt an, dass zwei verschiedene Gebilde in der Muskelfaser enthalten sind, doppelt brechende Elemente oder Disdiaklasten[5] und einfach brechende oder isotrope (§. 18). Jene sind nach ihm mit ihrer optischen Achse in der Richtung der Längsachse orientirt und ändern allein den rothen Grund eines Glimmerblättchens und zwar verhältnissmässig positiv in Bezug auf die Längsrichtung, während die letzteren den rothen Grund wiedergeben. Man sieht daher die blauen oder gelben sogenannten *Sarcous Elements* durch rothe Zwischenräume geschieden oder die letzteren sondern überdiess noch die Disdiaklasten der Länge nach, so dass sie als länglich viereckige Gebilde erscheinen[6]. Brücke bemerkt[7] ausserdem, dass diese Bilder nur an abgestorbenen Muskeln vollkommen auftreten, hier jedoch selbst hin und wieder gänzlich vermisst werden. Es ist ihm an verkürzungsfähigen Muskelfasern nur ausnahmsweise gelungen, sich von der Anwesenheit der einfach brechenden Masse zu überzeugen. Die glatten Muskelfasern endlich liefern keinen regelmässigen Wechsel von Disdiaklasten und einfach brechenden Theilen. H. Munk[8] sprach sich in einer

1. Brücke a. a. O. S. 81. 82.
2. a. a. O. S. 83.
3. a. a. O. S. 84.
4. a. a. O. S. 75. 84.
5. Der Name wurde von dem Entdecker der Doppelbrechung im Kalkspathe, Bartholin, gebraucht. Seine Schrift führt den Titel: *Experimenta crystalli Islandici disdiaclastici*. Hafniae. 1670.
6. Brücke a. a. O. Taf. I. Fig. 1. 2.
7. a. a. O. S. 79.
8. H. Munk, *De Fibra musculari*. Berolini 1859. 8. p. 5—25.

ausführlichen Kritik gegen jene Auffassungsweise aus, nahm eine die Muskelkörperchen bildende stärker und eine zwischen ihnen befindliche schwächer brechende Masse in der Muskelfaser an und schilderte die verschiedenen Formen wie sie nach dem Tode und während des Lebens seinen Erfahrungen gemäss auftreten [1].

§. 421. Die frischen und die abgestorbenen, die feuchten und die trockenen quergestreiften Muskelfasern des Menschen, der Wirbelthiere, der Insekten und der Crustaceen zeichnen sich durch die Stärke ihrer Doppelbrechung aus. Da die Einstellung der Längsachse der einzelnen Fasern in 0^0 oder 90^0 die geringste, die in $\pm 45^0$ die grösste Lichtstärke gibt, so folgt, dass die neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach dahingehen. Verhältnissmässig dünne Längsschnitte der Muskelmasse liefern häufig schon gelbe oder orange und bisweilen rothe oder blaue Färbungen an einzelnen Stellen. Die durch ein Gypsblättchen von Roth erster Ordnung hervorgerufenen Farbenveränderungen fallen dann weniger auf, als wenn man nur einzelne Fasern wählt, die silberleuchtend auf dem dunkelen Grunde des Polarisationsmikroskopes erscheinen. Steht die Längsachse einer solchen Faser der unter 45^0 befindlichen Achsenebene der rothen Gypsplatte parallel, so erhält man ein lebhaftes Blau oder Blaugrün. Die rechtwinkelige Kreuzung gibt Gelb, Weissgelb oder Orangegelb. Man hat also eine im Verhältniss zur Längsachse positive Wirkung. Sie kehrt in gleicher Weise in frischen, in abgestorbenen feuchten und in getrockneten Muskelfasern wieder. Die noch kenntlichen Fasern der Muskeln des Vorderarmes einer ägyptischen Mumie des Menschen lieferten eine schwächere Doppelbrechung, als die entsprechenden Sehnen (§. 400). Sie fiel in den Muskelfasern einer ägyptischen Chamäleonmumie bedeutend stärker aus und hatte einen positiven Charakter in Bezug auf die Längsachse.

§. 422. Man untersucht die einzelnen frischen Muskelfasern am besten, wenn man sie aus dem Schneidermuskel eines kurz vor-

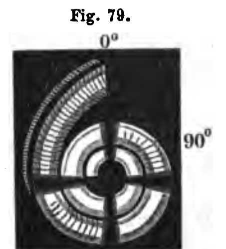
---

1. MUNK, Ebendaselbst p. 29 – 34.

her enthaupteten Frosches sondert. Dieser Muskel, den ich schon zu messenden Bestimmungen der Grösse der Muskelverkürzung wegen seiner langen nahezu parallelen Fasern bei früheren Gelegenheiten benutzt hatte, eignet sich auch gut für die Untersuchung in polarisirtem Lichte. Nimmt man ihn auch aus einem Frosche, der vor einer Reihe von Stunden getödtet worden, so erzeugt doch noch häufig jeder Zerfaserungsversuch, der die in den Muskel eintretenden Nerven trifft, lebhafte Zusammenziehungen. Die gesonderten Muskelfasern krümmen und winden sich oft noch eine Zeit lang in dem Wassertropfen und werden später merklich starr. Dieses verräth sich durch den stärkeren Widerstand, den sie der Einrollung mittelst der Präparirnadel entgegensetzen. Man kann überhaupt hierdurch den Eintritt der Todtenstarre im Frosche besser, als auf anderen Wegen bestimmen.

§. 423. Rollt man eine frische Muskelfaser des Schneidermuskels des Frosches ein oder mehrere Male kreisförmig ein, so gibt das Präparat ein dunkeles, den Polarisationsebenen der beiden Nicol entsprechendes Kreuz, Fig. 79, das verhältnissmässig negativ auf ein Gypsblättchen oder ein ¼ Glimmerblättchen antwortet. Diese Thatsache gestattet noch keinen sicheren Rückschluss auf die Lage der optischen Achse. Sie erklärte sich, wenn die optische Achse in der Länge der Faser dahinginge und diese positiv wäre oder jene in der Richtung der Breite verliefe, die Muskelfaser mit ihrer Breitenfläche auflāge und eine negative Beschaffenheit besässe.

Fig. 79.



§. 424. Sonderte ich die Muskelfasern eines Abschnittes des einen geraden Augenmuskels eines eben getödteten Frosches, so gaben die Gruppen, in denen mehrere Fasern über einander lagen, gelbliche Färbungen bei ± 45°. Drehte man das Präparat um seine Längsachse von oben nach unten, so stieg die Farbe zu entschiedenerem Gelb. Eine Drehung um die Querachse liess die Färbung zu weisslich Gelb herabgehen. Dieses würde für den Verlauf der

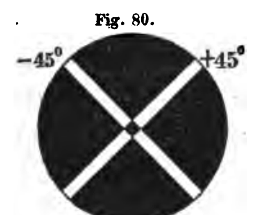
optischen Achsenebene in der Richtung der Längsachse und für die positive Beschaffenheit zeugen, wenn man sicher wäre, dass man hier gleichartige, mit den entsprechenden Flächen zusammenliegende Muskelfasermassen gehabt habe. Eine der völlig gesonderten Fasern besass eine deutlich parallelepipedische Form, die an der aus der Vogelperspective gesehenen oberen Fläche hell silberglänzend, an der seitlich und schief abfallenden Fläche dagegen bei ± 45° der Einstellung dunkel erschien. Die Einschaltung eines Gypsblättchens, so dass die längste Achse des Parallelepipeds der Achsenebene des Gypses parallel stand, machte die früher silberglänzende obere Fläche lebhaft blau, die schief abfallende dagegen roth bis röthlich gelb. Dieser Unterschied, der sich auch nach dem Trocknen und dem Einschmelzen in Canadabalsam erhielt, beweist keinesweges, dass die Durchmesser des Querschnittes einer solchen durch enge Zusammenlagerung parallelepipedisch gewordenen Muskelfaser unter einander optisch ungleichwerthig sind, oder dass die parallelepipedische Muskelfaser nicht ein-, sondern zweiachsig gewesen sei. Man hatte vielmehr hier dieselbe Grundursache, die wir später bei Gelegenheit der Wellenbiegungen ausführlich erläutern werden. Die Drehungen um die Längs- oder um die Querachse nach der Einschaltung des Gypsblättchens gaben keinen so scharfen Farbenwechsel, dass man einen sicheren Schluss auf den Unterschied begründen konnte.

§. 425. Gesonderte, frische oder getrocknete, sowie seit Jahren in Weingeist oder in Chromsäurelösung aufbewahrte Muskelfasern erscheinen in der Regel an allen Stellen dunkel, wenn sie mit ihrer Längsachse unter 0° oder 90° betrachtet werden. Ich stiess jedoch auch auf Ausnahmen. Die steifen, einzeln dargestellten Muskelfasern des Oberarmes eines Weingeistexemplares einer Kröte zeigten helle Flecke in jenen beiden bevorzugten Azimuthen, wenn auch das Meiste dunkel wurde. Liegt eine Reihe von Muskelfasern über einander, so wiederholt sich nicht selten das Gleiche, weil die Längsachsen der in verschiedenen Höhen befindlichen Fasern nicht parallel dahingehen.

§. 426. Machte ich feine, auf der Längsachse möglichst senkrechte Querschnitte aus den getrockneten Muskelmassen der Fingerbeuger des Menschen, des Oberschenkels von *Testudo mauritanica* oder des Oberarms eines Murmelthieres am Ende des Winterschlafes, so breiteten sich die eingerollten Präparate sogleich eben aus, sowie man sie mit einem Tropfen Wasser befeuchtete. Untersuchte man sie dann ohne Deckgläschen zuerst ohne und dann mit einem Zerleger, so sah man, dass viele Querschnitte auf dem dunkelen Gesichtsfelde dunkel blieben und den rothen Grund nach der Einschaltung eines Gypsblättchens wiedergaben. Dieses änderte sich bei vielen nicht, wenn man das Präparat in seiner Ebene drehte, während andere violette, blaue oder gelbe Färbungen in dem gleichen Falle darboten. Die ersteren waren also einachsig und dabei positiv, da sie die Farben des Gypsgrundes verhältnissmässig positiv änderten, wenn sie durch Druck der Länge nach umgelegt waren. Die anderen Fasern hatten wahrscheinlich denselben Charakter. Der Querschnitt war hier nur vermuthlicher Weise schief zur Längsachse geführt worden. Die Möglichkeit der zweiachsigen Beschaffenheit bleibt jedoch nicht ausgeschlossen.

§. 427. Der positive Charakter liess sich auch an den Muskelfasern eines frisch getödteten Flusskrebses nachweisen. Stellte ich die Längsachse der Fasern parallel der Achsenebene des Gypsblättchens von Roth erster Ordnung, so erhöhte die Drehung um die Längsachse von oben nach unten das Blau der Muskelfaser zuerst zu Grün und später zu Grüngelb und das Gelb, das sich bei senkrechter Richtung zur Achsenebene zeigte, sank bis zu Lavendelgrau hinab.

Fig. 80.



§. 428. Kreuzte ich zwei getrocknete Muskelfasern der genannten Schildkröte recht- oder spitzwinkelig und schloss sie in Canadabalsam ein, so zeigte sich in der Regel ein die ganze Oberfläche der Deckungsstelle einnehmendes dunkeles Viereck, Fig. 80, als der Ausdruck der gleichen und entgegengesetzten Gangunterschiede.

Es wiederholte die Farbe des Gypsgrundes rein oder annähernd bei rechtwinkeliger Kreuzung und nahezu gleicher Dicke der Fasern. Muskelfasern von Weingeistpräparaten der Kröte, der Scholle, des Rochens, des Hummers zeigten dasselbe oder bei ungleicher Dicke zwei dunkele gesonderte Halbmonde oder gar keine sich völlig aufhebende Gangunterschiede.

§. 429. Die Annahme, dass eine einfach brechende Masse die doppelt brechenden Elemente oder die Disdiaklasten trennt, stösst schon auf Schwierigkeiten bei der theoretischen Durchführung. Untersucht man die frischen Muskelmassen eines kurz vorher getödteten Frosches oder Krebses unmittelbar oder nachdem man sie eintrocknen liess und in Canadabalsam gebracht hat, mit der Einschaltung eines Gypsblättchens von Roth erster Ordnung und der nach der Längsachse bestimmten Orientation $\pm 45^0$, so findet man nicht selten rothe Zwischenbänder, welche die blauen oder gelben Streifen trennen. Die, welche die geringste Länge, d. h. die kleinste der Längsrichtung der Muskelfaser entsprechende Ausdehnung haben, erscheinen oft erst unter einer 100 bis 200fachen Vergrösserung $1/4$ bis $1/8$ Millimeter lang. Fig 81 zeigt uns ein Beispiel der Art. Schloss ich die Bauchmuskeln eines frisch getödteten Frosches zwischen zwei Glasplatten ein, so gab in einem Falle die getrocknete Masse rothe Zwischenstreifen, deren Länge $1/4$ Mm. für das freie Auge betrug und die daher unter dem gewöhnlichen Polarisationsapparate ohne alle Linsen erkannt wurden. Fig. 82, die nur nach einer Lupenvergrösserung von kaum 3 im Durchmesser entworfen worden, lässt regelmässige helle und dunkele Bänder an vielen Orten erkennen. Andere Präparate liefern Zwischengrössen zwischen diesen Extremen. Die längeren oder kürzeren rothen Bänder gehen in der Regel nur der Quere nach durch. Rothe Längsstreifen, welche die blauen oder gelben Elemente trennen, sind seltener und fast immer schmaler. Da nun die meisten frischen, viele abgestorbene

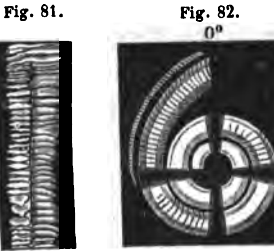


Fig. 81. Fig. 82.

unmittelbar untersuchte oder seit Jahren in Weingeist, Glycerin oder Terpentinöl aufbewahrte oder getrocknete und in Canadabalsam eingeschlossene Muskelfasern keine Spur von rothen Zwischenbändern zeigen, so nöthigte das Vorkommen der letzteren zu der Annahme, dass unbekannte begünstigende Verhältnisse es herbeiführten, dass sich die einfach brechende Masse in Querbändern sammelte, deren Länge um mehr als das Ein- bis Zweihundertfache wechselte, und die Disdiaklasten reihenweise trennte. Eine solche durchgreifende, nur unter einzelnen unbekannten Nebenbedingungen auftretende Veränderung könnte keinen Rückschluss auf den ursprünglichen Bau der Muskelmasse gestatten. Es wäre sogar möglich, dass sich die als einfach brechend angenommene Masse erst nachträglich, wie der Faserstoff aus dem Blute ausgeschieden hätte. Wesshalb gerade die Querbänder so gross und häufig und die Längsbänder so klein ausfallen oder gänzlich fehlen, bliebe ebenfalls unerklärlich.

§. 430. Gehen wir nun zu der Erfahrung über, so haben wir §. 396 und §. 399 gesehen, dass die gleichen rothen Querbänder in dem welligen Bindegewebe und den Sehnen vorkommen. Die Untersuchung der Nerven wird sie uns ebenfalls und zwar zum Theil mit manchen Eigenthümlichkeiten vorführen. Ich habe sie sogar einmal in einem eingetrockneten feinen Längsschnitte des Epiphysenknorpels einer jungen Katze nach dem Einschmelzen in Canadabalsam angetroffen. Die rothen Zwischenbänder verhalten sich in allen diesen Fällen im Wesentlichen ähnlich, wie die der Muskeln. Sie sind in keinem dieser Gebilde einfach brechend.

§. 431. Gibt ein Theil die Dunkelheit oder die durch ein Gypsblättchen erzeugte eigenthümliche Farbe des Grundes wieder, so bleiben zwei Fälle möglich. Die Masse ist einfach brechend oder doppelt brechend, nur dass ihre Hauptschnittsrichtung einer der beiden Polarisationsebenen in dem letzteren Falle parallel steht. Untersuchen wir die rothen Querbänder der Muskeln oder der anderen genannten Gebilde, so finden wir, dass die meisten ihre rothe Farbe verlieren, wenn man sie in ihrer Ebene dreht und sie erst

nach einer Wendung von 90° vollständig wiedergewinnen. Manche Querbänder erscheinen am deutlichsten bei 0°, andere bei 90° und noch andere in dazwischenliegenden Azimuthen. Hieraus folgt, dass die ihnen entsprechende Masse doppelt brechend ist. Man stösst in selteneren Fällen auf solche, die in der Ebene des Präparates herumgedreht roth bleiben. Wir dürfen aber hieraus nicht schliessen, dass ihre Masse einfach breche. Denn stünde ihre optische Achse senkrecht auf der Drehungsebene oder parallel der Achse des Polarisationsinstrumentes, so würde das Roth in allen Azimuthen auftreten. Es gibt aber hier ein einfaches Mittel, um zwischen einfach und doppelt brechend zu entscheiden. Wir neigen die Ebene des Präparates schief von oben nach unten und drehen es in dieser schiefen Lage um die Achse des Beobachtungsinstrumentes. Dieses muss für eine einfach brechende Masse gleichgültig sein. Der rothe Grund bleibt daher hier in allen Azimuthen erhalten. Ein doppelt brechender Körper dagegen gibt ihn nur, wenn der Hauptschnitt einer der beiden Polarisationsebenen parallel ist, ändert ihn aber in den übrigen Stellungen. Die rothen Bänder der zweiten Art liefern den letzteren Farbenwechsel. Sie sind also ebenfalls doppelt brechend.

Einzelne Muskelfasern des Maikäfers, die sich durch die Länge der zwischen den Querstreifen befindlichen Masse auszeichneten, boten dieser entsprechende Bänder auf dem Gypsgrunde dar. Sie wechselten wieder an Farbe mit Verschiedenheit der Azimuthe.

Will man solche Versuche anstellen, so darf man natürlich nicht die zu prüfenden Fasern auf ein Glimmer- oder ein Gypsblättchen, das man als Objectglas benutzt, legen, weil sich sonst beide gleichzeitig drehen und sich nicht relativ zu einander verschieben. Man schaltet vielmehr das Gypsblättchen an einer beliebigen Stelle zwischen den beiden Nicol mit seiner Achsenebene unter ± 45° ein und dreht nur das Objectglas mit den darauf befindlichen Fasern.

§. 432. Die abwechselnd blauen oder gelben und rothen Bänder, welche das Bindegewebe, die ihm verwandten Gebilde, die Sehnen, die Nervenhüllen, sowie die Muskelfasern häufig zeigen,

erklären sich aus bestimmten Nebenbedingungen der durch die elastische Zurückziehung oder das Eintrocknen erzeugten Wellenbiegungen. Die Fasern haben ihre neutralen Richtungen der Länge und der Quere nach. Denken wir uns z. B. sie seien unter $\pm 45^0$ eingestellt, damit das Blau oder Gelb mit grösster Lebhaftigkeit zum Vorschein komme. Dass ein Theil derselben die rothe Farbe des Gypsgrundes wiedergebe, müssen ihre beiden ausgezeichneten Ebenen den zwei rechtwinkelig gekreuzten Polarisationsebenen der Nicol parallel sein. Dieses ist auf zweierlei Hauptarten möglich, durch seitliche oder durch senkrechte Verschiebung.

Die Faserrichtungen *ab* und *bd* Fig. 83 stehen unter 45^0 zu den beiden Polarisationsebenen und *ad* entspricht z. B. der optischen Achsenrichtung der einachsigen Muskelfaser. Ist nun *bc* dergestalt seitlich eingeknickt, dass *bc* in der Richtung einer der beiden Polarisationsebenen der Nicol dahingeht, so wird *bc* in dieser Stellung den rothen Gypsgrund wiedergeben, bei der Drehung des Präparates in seiner Ebene dagegen die Farbe ändern. Ein Nebenumstand zeigt nicht selten in den Muskelfasern und in dem Bindegewebe, dass eine solche seitliche Verschiebung stattgefunden hat. Die auf einander folgenden blauen oder gelben Bänder sind seitwärts verrückt, wie es Fig. 77 S. 267 für das Bindegewebe und zum Theil Fig. 81 S. 283 für die Muskelfasern darstellt. Eine zweite Möglichkeit ist, dass die Wellenbiegung die Faser von oben nach unten dermassen faltet, dass *bc* Fig. 84 senkrecht auf der Ebene *ad* des Präparates steht. Der Farbenwechsel wird sich dann erst verrathen, wenn die Ebene des letzteren schief um die Achse des Instrumentes gedreht wird. Man sieht aber zugleich, dass überhaupt nur ein kleiner Theil der Wellenbiegungen, welche die elastische Zurückziehung oder das Eintrocknen erzeugt, scheinbare Disdiaklasten hervorbringen oder vielmehr den Bedingungen entsprechen wird, durch welche die rothen Zwischenbänder in einem bestimmten Azimuthe entstehen. Es erklärt sich auch, wesshalb oft neue in anderen Azimuthalstellungen auftreten.

Fig. 83.

a b c d

Fig. 84.

a b c d

§. 433. Mehrere Thatsachen bestätigen diese Auffassungsweise. Die rothen Zwischenbänder verlieren sich bisweilen unter dem Einflusse des Druckes oder des späteren Eintrocknens. Ein eingetrocknetes und in Canadabalsam eingeschmolzenes Scleroticapräparat lieferte die reichlichsten rothen Zwischennetze, die aber diese Farbe bei dem Wechsel des Azimuthes nicht bewahrten. Man kann endlich in seltenen Fällen eine Erfahrung machen, die gerade das Entstehen der durch senkrechte Biegungen erzeugten Zwischenbänder unmittelbar vor Augen führt.

Zerfasert man einen langfaserigen Muskel eines eben getödteten Frosches, z. B. den Schneidermuskel oder den Zungenbein-Zungenmuskel, so krümmen sich die gesonderten Fasern eine Zeit lang in dem umgebenden Wasser. Ich sah nun, wie sich ein Theil der Muskelfaser nahezu senkrecht aufstellte, sogleich die Farbe des rothen Gypsgrundes, im Gegensatze zu den Nachbarstücken, wenn auch nicht rein, doch annähernd an dem aus der Vogelperspective beinahe senkrecht erscheinenden Abschnitte annahm und sie um so mehr verlor, je mehr er sich bei der fortdauernden Bewegung hinabsenkte und nach der Richtung eines anderen Azimuthes hinüberkrümmte.

Leitete ich die Schläge des Magnetelektromotors auf die §. 437 erwähnte Weise durch frische Muskelabschnitte des Frosches, während ich mit polarisirtem Lichte nach der Einschaltung eines Gypsblättchens beobachtete, so sah ich bisweilen die blauen und rothen oder die gelben und rothen Bänder entstehen, wenn die Verkürzung benachbarter Muskelfasern Faltungen hervorrief. Früher vorhandene schwanden in anderen Fällen, in denen die Zusammenziehung solche Unebenheiten ausglich.

§. 434. Die frischen durchschnittenen Muskelfasern stülpen sich häufig an ihren Durchschnittsenden um. Diese nach aussen gewandten Theile verhalten sich, wie die übrigen Muskelfasern und nehmen eine gleichartige blaue oder gelbe Farbe auf dem Gypsgrunde an. Ich benutzte die in Glycerin aufbewahrten, sehr durchsichtigen und mit scharfen parallelen Querstreifen versehenen Muskelfasern von *Petromyzon fluviatilis*, um, wo möglich, eine noch vorhandene zweite einfach oder schwächer doppelt brechende Masse neben der

stark doppelt brechenden zu entdecken. Obgleich ich die stärksten und besten SCHIEKschen Linsen anwandte, so waren doch alle Bemühungen, ein Zeichen einer solchen heterogenen Substanz zu finden, vergeblich. Ich wählte natürlich Fasern, die vollkommen gerade gestreckt keine Spur von Falten darboten. Die Querbänder, welche durch die dunkelen schmalen Linien der Querstreifen getrennt wurden, änderten ihre Farben auf das Lebhafteste, wenn ich Gypsblättchen von Roth erster, Blau zweiter oder Gelb zweiter Ordnung gebrauchte. Nur die äusserst schmalen Querlinien blieben in allen Fällen dunkel und gaben nie den Gypsgrund wieder. Die Farben der Bänder, die je nach Verschiedenheit des angewandten Blättchens und der Azimuthe + 45° oder — 45° Blau, Gelb, Orange, Röthlichgelb waren, verbreiteten sich längs der ganzen Oberfläche völlig gleichförmig. Dasselbe wiederholte sich für nicht gefaltete Muskelfasern, in denen man die parallelen Längsfäden erkannte.

§. 435. Das polarisirte Licht gibt ein Mittel, verschiedene Muskelfaserschichten, die in ungleichen Richtungen dahingehen, besser als in gewöhnlichem Lichte zu unterscheiden. Ist z. B. das Samenrohr des Flusskrebses mit Samenmasse gefüllt, so erkennt man höchstens einzelne Querschichten von Muskelfasern unter dem gewöhnlichen Mikroskope. Das durch ein Gypsblättchen roth gemachte Gesichtsfeld zeigt sogleich die Quer- und die Längsfasern in lebhaft gelben und blauen Färbungen.

§. 436. Das warme Wasser scheint mit ungleichem Nachdrucke auf die Muskelfasern der verschiedenen Thiere einzuwirken. Die frischen Muskelfasern des Flusskrebses verloren fast vollständig ihre Doppelbrechung nach dem Aufenthalte von einigen Secunden in siedendem Wasser. Der rothe Gypsgrund änderte sich nur noch spurweise in Blauviolett oder in Gelbröthlich um. Der Charakter war bei dieser Abschwächung der Doppelbrechung der gleiche geblieben. Die reizbaren Muskelfasern des Frosches verriethen eine grössere Zähigkeit. Liess ich den einen Fuss in Wasser von 40°C. erstarren, so erhielt sich die starke Farbenänderung des Gypsgrundes in der früheren Grösse. Dasselbe wiederholte sich, wenn ich

Bruchstücke der Oberschenkelmuskeln 10 Secunden lang in Wasser von 56° C., andere 15 Secunden in solchem von 54° C. und noch andere 60 Secunden in solchem von 52°, 5 C. gelassen hatte. Der Aufenthalt von 5 Secunden bis 15 Minuten in siedendem Wasser schwächte die Doppelbrechung. Der rothe Gypsgrund wurde aber immer noch deutlich blau und vorzugsweise gelb, obgleich weniger stark als durch frische Fasern. Die Essigsäure vernichtete die Doppelbrechung in wenigen Secunden kraftvoller, als das Kochen während einer weit grösseren Zahl von Minuten. Muskelfasern des Frosches, die durch einen mehrmonatlichen Aufenthalt in Chromsäurelösung gelb und hart geworden waren, besassen noch den positiven Charakter. In der Küche gekochtes Rindfleisch hatte zwar den grössten Theil seiner Doppelbrechung verloren, färbte aber doch noch den rothen Gypsgrund in merklicher Weise Liess ich die Fasern eintrocknen und fasste sie dann in Canadabalsam, so änderten die meisten die Gypsfarbe mit grossem Nachdrucke. Nur einzelne Säume bewirkten einen kaum merklichen Wechsel in den verschiedenen Azimuthen.

§. 437. Die Frage, ob die Werthe der optischen Constanten (§. 39) bei der Muskelverkürzung wechseln, wird noch lange unentschieden bleiben, weil die Mittel, manche Seiten des Problemes zu prüfen, noch nicht gegeben sind. Man könnte sich vorzugsweise drei Möglichkeiten denken:

1. Die Muskelfaser bleibt einachsig. Es ändern sich aber die Brechungscoëfficienten des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles, sei es dass der Unterschied beider derselbe bleibt, als im erschlafften Zustande oder dass auch diese Grösse wechselt. Die Muskelfaser könnte also in dem letzteren Falle möglicher Weise aus dem Positiven in das Negative übergehen. Da die Wissenschaft kein Mittel besitzt, die Ablenkungscoëfficienten der Muskelfaser numerisch zu bestimmen, so lässt sich dieser Theil des Problemes noch nicht mit genügender Vollständigkeit prüfen.

2. Die Faser, die in dem ruhenden Zustande einachsig ist, wird im Augenblicke der Verkürzung zweiachsig. Da die optische Achse der Länge nach dahingeht, so haben die in der Ebene des

Querschnittes liegenden Elasticitätsachsen die gleiche Grösse nach allen Richtungen. Bedingte aber die Zusammenziehung eine negative Dilatation in einer Richtung, so würde eine zweiachsige Beschaffenheit in ähnlicher Weise hervorgehen, wie wir sie in Linsenplatten durch künstlichen Druck hervorrufen können (§. 255).

Ich bediente mich eines einfachen Verfahrens, um, wo möglich, einem solchen Wechsel auf die Spur zu kommen. Ich bereitete mir Querschnitte aus den Oberschenkelmuskeln eines kurz vorher getödteten Frosches mittelst des Doppelmessers. Sie dürfen nicht zu dünn sein, weil sonst die Empfänglichkeit zu leicht verloren geht. Der Gebrauch von eigenen Vorrichtungen zur galvanischen Reizung von Muskelmassen unter dem Mikroskope ist überflüssig. Ich bringe zwei grössere Wassertropfen zu beiden Seiten des das Präparat enthaltenden freien oder mit einem Glasblättchen bedeckten Wassers an und verbinde sie wechselseitig. Man taucht die Elektrodenspitzen des Magnetelektrometers in die äusseren Wassertropfen während der mikroskopischen Beobachtung oder leitet in sie zwei durch Klebwachs befestigte Platindräthe oder zwei unmittelbar aufgelegte Streifen von Filtrirpapier und bewirkt den Schluss durch Berührung der letzteren oder durch eine Wippe oder eine andere Quecksilbervorrichtung.

Denken wir uns, wir hätten den Querschnitt einer einachsigen Muskelfaser, der den dunkelen Grund des Polarisationsmikroskopes wiedergibt und bei der Zusammenziehung hell wird, so wäre diese Veränderung durch einen Uebergang aus der einachsigen in die zweiachsige Beschaffenheit möglich (§. 255). Ich habe dieses allerdings in glücklichen Fällen an einzelnen Faserquerschnitten reizbarer Froschmuskeln bemerkt, kann aber die Erscheinung nicht in dem eben erläuterten Sinne mit Zuverlässigkeit deuten, weil sich die kurzen Muskelfasern bei der Zusammenziehung krümmen. Ist der Querschnitt nicht genau senkrecht auf der Längsachse der Muskelfaser, so ist er nur dunkel, wenn der Hauptschnitt mit einer der beiden Polarisationsebenen der Nicol zusammenfällt. Jede Krümmung führt aber die Faser aus dieser Stellung heraus und bedingt daher Helligkeit.

3. Es wäre denkbar, dass sich die optische Achse der Muskel-

fasern im Augenblicke der Verkürzung seitlich drehte. Liegen die Fasern bei der mikroskopischen Untersuchung der Länge nach auf, so geht der bestimmende Hauptschnitt in dieser Längsrichtung senkrecht dahin. Stellt man sie unter 0^0 oder 90^0 ein, so erscheinen sie dunkel. Tritt jetzt die Zusammenziehung ein, so werden die Fasern dunkel bleiben, wenn sich die Richtung des Hauptschnittes nicht ändert, und hell werden, sowie sie sich nach der Seite wendet.

Die Anstellung des Versuches gelingt besser an Bruchstücken von Muskelfasern von mikroskopischer Länge, als an ausgedehnteren Massen. Hat man die ziemlich weit offen gelassene Spalte des Doppelmessers mit Wasser gefüllt — eine Bedingung, die für den erfolgreichen Gebrauch dieses Instrumentes wesentlich ist — so erhält man mit jedem Querschnitte zahlreiche kurze Bruchstücke der Muskelfasern, z. B. aus dem Oberschenkel des Frosches. Galvanisirt man eines oder mehrere, die unter 0^0 oder 90^0 stehen, so sieht man oft, wie sie sich lebhaft verkürzen, sobald das umgebende Wasser nicht zu lange gewirkt hat. Zweierlei Arten des Wechsels der Lichtstärke kommen bei diesen Beobachtungen vor. Hat die Muskelfaser die Fig. 81 S. 283 abgebildeten hellen und dunkelen, durch ihre Biegungen erzeugten Bänder, so schwinden diese bisweilen während der Zusammenziehung gänzlich oder nur an einzelnen Stellen, um an anderen Orten aufzutreten. Die Erscheinung rührt natürlich nur von der Formveränderung der Muskelfaser her. Es kommt aber auch nicht selten vor, dass die dunkele Faser in dem grössten Theile oder ihrer ganzen Länge hell wird, sowie sie sich zusammenzieht. Der Unterschied der Lichtstärke ist von überraschender Grösse in glücklichen Fällen. Die Muskelfaser krümmt sich aber zu gleicher Zeit seitlich, so dass sich nicht mit Sicherheit auf eine Drehung der Achsenebene schliessen lässt. Könnte man aber auch diese nachweisen, so würde es sich fragen, ob sie von den gleichen Ursachen herrührte, wie die Polarisationsebene durch Wasser, das von einem galvanischen Strome umkreist wird oder von anderen Gründen.

§. 438. Wir haben §. 420 gesehen, dass der Farbenwechsel, den dickere Muskelschichten im Augenblicke der Zusammenziehung

darbieten, keine Folgerung gestattet, weil gleichzeitig die Dicke zunimmt. Bedenkt man, welche kleine Werthe Gangunterschieden von merklichen Grössen entsprechen, so kann das Bemühen, den Wechsel der Dicke durch das Zusammendrücken des Muskels zwischen zwei Glasplatten zu beseitigen, keine zuverlässigen Ergebnisse möglich machen. Man entfernt das Farbenspiel durch den Gebrauch einfarbigen Lichtes, eines rothen Ueberfangglases oder der Kochsalz-Weingeistflamme. Es ist zu bezweifeln, dass dieses Verfahren einen sicheren Entscheid über das Verhalten der Fasern bei der Verkürzung herbeiführen wird.

§. 439. Will man diese ohne Weiteres unter dem Mikroskope beobachten, so dienen am besten flächenhaft ausgebreitete Abschnitte der Vorhofswandungen. Manche Präparate der Art zeigen unmittelbar, wie sich die in ihnen enthaltenen Muskelbündel von Zeit zu Zeit selbstständig zusammenziehen. Ist dieses nicht der Fall, so hilft bisweilen die Durchleitung der Schläge des Magnetelektromotors während einer Reihe von Secunden. Ich habe die periodischen Verkürzungen von Präparaten, welche diese Anregung empfangen hatten, ungefähr eine halbe Stunde lang unter dem Mikroskope verfolgen können.

§. 440. Die kurz vorher ausgerissenen schmaleren Muskelfasern des Maikäfers und der Schmeissfliege ändern die Farben, die sie auf dem Gypsgrunde angenommen haben, nicht merklich, wenn sie sich mit Wasser befeuchtet pendelartig oder wurmförmig bewegen.

§. 441. Die frischen einfachen Muskelfasern des Magens oder des Darmes des Frosches und die älteren des Dünndarmes des Murmelthieres verhalten sich ähnlich, wie die quergestreiften Fasern und erweisen sich ebenfalls positiv in Bezug auf ihre Längsachse. Will man sich aber hier vor Täuschungen bewahren, so muss man den zu untersuchenden Theil in Bündel zerlegen, deren Fasern parallel laufen. Man erhält häufig Präparate, in denen eine Stelle den rothen Gypsgrund blau und eine

benachbarte gelb macht. Eine genauere Prüfung lehrt, dass hier die Fasern in verschiedenen auf einander senkrechten oder schiefen Richtungen verlaufen. Der Gebrauch solcher Gypsblättchen lässt auch hier Durchkreuzungen der Faserbündel deutlicher als das gewöhnliche Licht hervortreten. Hat man das Ganze fein zerfasert, so dass Zellenfasern oder sogenannte Muskelzellen frei am Rande hervorragen, so sieht man, dass die Wirkung der Längsachse derselben der der Längsachse der Faserbündel gleicht, mithin die Länge einer der beiden neutralen Richtungen entspricht und die verhältnissmässig positive Wirkung bestimmt. Das letztere zeigte sich auch sehr nachdrücklich an den in Glycerin aufbewahrten stark entwickelten einfachen Muskelfasern einer hochschwangeren Gebärmutter einer Frau.

§. 442. Da die Bündel der einfachen Muskelfasern nur in seltenen Fällen Falten bilden, so kommen auch die abwechselnden rothen und gelben oder blauen Bänder minder häufig als in den quergestreiften Fasern vor. Ich fand sie aber z. B. in den Muskelfasern des Bauchtheiles der Speiseröhre des Menschen, die seit längerer Zeit in Weingeist aufbewahrt worden. Es versteht sich von selbst, dass man sich vor einer Verwechselung mit welligen Zellgewebebündeln hüten muss.

XII. Nervengewebe.

§. 443. Die durch Schlängelungen der Neurilembündel erzeugten FONTANAschen Bänder verrathen sich auch unter dem Polarisationsmikroskope, vorzüglich, wenn die Längsachse des Nerven parallel der einen der beiden Polarisationsebenen eingestellt worden. Man sieht dann weissleuchtende, durch dunklere Zwischenräume getrennte Ring- oder Schraubenbänder, die unter $\pm 45^0$ grösstentheils unkenntlich werden. Die sie erzeugenden doppelt brechenden Elemente gehen also meistentheils schief in Beziehung auf die Längsachse des Nerven dahin. Ein eingeschaltetes Gypsblättchen von Roth erster Ordnung lässt bei 0^0 die Bänder gelb und blau und die Zwischenmasse roth erscheinen, wenn der Nerv dünn und durchsichtig genug ist. Hat man ihn dagegen mit seiner

Längsachse unter ± 45° orientirt, so ist seine ganze Fläche je nach seiner grösseren oder geringeren Dicke blassgrün bis blau, wenn der Längendurchmesser der Achsenebene des Gypses parallel liegt und gelb, wenn er senkrecht auf ihr dahingeht. Diese Wirkung rührt nur von dem Neurilem, nicht aber dem Nervenmarke her. Man findet bisweilen z. B. an Bündeln des Hüftnerven des Frosches Bänder, die vollkommen schraubenartig herabgehend nach der eben ausgesprochenen Norm abwechselnd blau und gelb gefärbt sind und an die Spiralgefässe z. B. der *Musa paradisiaca* (§. 333) in vieler Beziehung erinnern.

Die Bänder verlieren sich häufig bei dem Eintrocknen des Nervenbündels an einzelnen Stellen, während sie sich an anderen erhalten. Die schönsten und regelmässigsten, die an die ähnlichen Bänder der quergestreiften Muskelfasern in hohem Grade erinnerten, begegneten mir an feinen Längsschnitten eines vorher getrockneten Astes des Achselgeflechtes des Menschen, die ich unter Canadabalsam untersuchte.

§. 444. Stellt man einen der dünnsten Hautnerven des Rückens eines unmittelbar vorher getödteten Frosches mit seiner Längsachse unter ± 45° ein, so lehrt die Prüfung mit einem Gypsblättchen, dass er verhältnissmässig negativ, also entgegengesetzt, wie die Muskelfasern und das Bindegewebe wirkt. Hat man einen feinen Nerven, der von einer breiten Bindegewebsmasse seitlich begrenzt wird, so verräth sich der Unterschied unmittelbar. Der rothe Gypsgrund wird durch den Nerven gelb und durch die Bindegewebhülle blau, wenn die Längsachsen beider der Achsenebene des Gypses parallel stehen. Man erhält das Umgekehrte bei senkrechter Kreuzung. Präparate der Art können getrocknet, erwärmt und in Canadabalsam eingeschmolzen werden, ohne dass der Unterschied verloren geht.

§. 445. Zerfasert man z. B. den Hüftnerven eines eben getödteten Frosches, so zeigt sich die verhältnissmässig negative Wirkung vorzugsweise an den Rändern der vereinzelten Primitivfasern, an denen fast immer mehr oder minder geronnenes Mark vorhanden ist. Der markige Zwischenraum scheint bisweilen die Farbe des

Gypsgrundes wiederzugeben. Man erkennt jedoch meistentheils bei genauerer Prüfung, dass eine Spur von Farbenänderung vorhanden ist, vorzüglich wenn die Gerinnung einzugreifen beginnt. Ein Gypsblättchen von Roth erster Ordnung liefert hier wiederum die schärfsten Ergebnisse. Ich fand aber auch ein solches von Blau zweiter Ordnung (Werth 664 §. 174) nicht für die Nerven oder Nervenbündel im Ganzen, dagegen für die gesonderten frischen Primitivfasern passend. Stand die Längsachse der Achsenebene parallel, so wurden die Seitenränder röthlich. Befand sie sich auf jener senkrecht, so erschienen sie silberweiss. Sie glänzten aber in beiden Fällen auf dem tiefblauen Grunde so lebhaft, dass man sie hierdurch sogleich entdeckte und das Ganze einen sehr zierlichen Anblick gewährte.

§. 446. Die Behandlung der frischen gesonderten Nervenfasern mit Collodium änderte den Charakter der Doppelbrechung nicht und die dunkele Linie, die sich dann in vielen Fasern zeigte, bot nichts Bemerkenswerthes dar. Die geronnenen Massen der Primitivfasern eines Frosches, der seit ungefähr einem halben Jahre in verdünnter Chromsäurelösung aufbewahrt worden, leuchteten silberweiss auf dem dunkelen Gesichtsfelde und erzeugten eine deutliche gelbe Färbung des Gypsgrundes (die von ihrer ursprünglichen Farbe merklich abwich), wenn die Längsachse der Faser der Achsenebene parallel stand. Das Blau dagegen kam nur an einzelnen Stellen des Randes bei gekreuzter Richtung nachdrücklich zum Vorschein. Der Unterschied zwischen Nervenmark und Bindegewebe verrieth sich auch hier noch, wenn auch nicht in solcher Farbenstärke, als im frischen Zustande. Nervenfasern aus dem Grenzstrange des Sympathicus des Frosches, die in einer ammoniakalischen Carminlösung vollkommen roth gefärbt und dann in Glycerin aufbewahrt worden, änderten noch deutlich den Gypsgrund mittelst ihres Markes.

§. 447. Da die Gerinnung des Markes die doppelt brechende Wirkung kräftiger hervortreten lässt, so eignen sich die Nerven älterer Menschenleichen sehr gut, um die verhältnissmässig nega-

tive Wirkung und den Gegensatz zu dem verhältnissmässig positiven Bindegewebe zur Anschauung zu bringen. Solche Nervenfasern des Menschen lehren auch, dass die Begrenzungshaut einer jeden Primitivfaser verhältnissmässig positiv wirkt. Ist das Mark bei dem Zerfasern an einer Stelle fortgedrückt worden, so erscheint dieser Bezirk der Primitivfaser bläulich roth, die benachbarten, mit Mark gefüllten Stellen dagegen gelb, wenn die Längsachse des Nerven der Achsenebene des rothen Gypsblättchens parallel steht.

Diese Verschiedenheit der Wirkungen von Hülle und Mark kann zur Entscheidung benutzt werden, ob eine sich entwickelnde Nervenfaser schon Mark enthält oder nicht. Wir werden später sehen, dass die Nervenfasern junger Embryonen in Bezug auf die Längsachse positiv wirken, weil sich noch keine Markmassen abgelagert haben. Die Bündel des grauweissen Hüftnerven einer neun Tage alten Katze dagegen gaben entschieden negative Färbungen. Das Polarisationsmikroskop führt hier weiter, als das freie Auge und die Vergrösserungen in gewöhnlichem Lichte.

§. 448. Unterliegt es schon nach dem eben Dargestellten keinem Zweifel, dass die verhältnissmässig negative Wirkung der Nervenfaser von dem Marke herrührt, so sieht man dieses unmittelbar, wenn Bruchstücke der geronnenen Markmasse bei der Zerfaserung ausgetreten sind. Diejenigen Stücke, welche noch eine cylindrische Form besitzen, erscheinen der Hauptsache nach verhältnissmässig negativ. Ich mache diese Einschränkung, weil nicht selten eine Eigenthümlichkeit, die man schon an Primitivfasern hin und wieder bemerkt, an solchen Bruchstücken vorkommt. Das Blau z. B. zeigt sich nur an den Seitenrändern, in der Mitte dagegen gelb oder man hat unregelmässig vertheilte blaue und gelbe Flecke, wenn die Längsachse die Achsenebene rechtwinkelig kreuzt. Da die Gerinnung das Mark faltet und dabei Theile, die früher der Längsachse der Primitivfaser parallel dahingingen, schief stellt, so erklärt sich hieraus die erwähnte Abweichung. Solche Markmassen geben auch den Gypsgrund bei 0^0 und 90^0 verändert wieder.

§. 449. Es glückt häufig, die Primitivfasern oder die Markmassen so einzutrocknen, dass man alle geschilderten Eigenschaften noch nach dem Einschmelzen in Canadabalsam erkennt. Ich fand aber auch an den Nerven des Menschen und des Frosches nicht selten Stellen, an denen die lebhafte Farbenerzeugung durch das Trocknen verloren gegangen war. Der Bauchstrang des Krebses bot in dieser Beziehung das auffallendste Beispiel dar. Untersuchte ich ihn frisch mit Hilfe eines Gypsblättchens von Roth erster Ordnung, so zeigte er die lebhaftesten Farben in der ganzen Flächenausdehnung. Man konnte hierdurch den Faserverlauf in dem Innern eines jeden Knotens zu einem grossen Theile erkennen. Liess ich dasselbe Präparat trocknen und überzog es mit Canadabalsam, so sah ich nur einzelne zerstreute schmale blaue oder gelbe Streifen, die vorzugsweise am Rande oder an Faltungsstellen auftraten. Die ganze übrige Masse dagegen änderte die Farbe des Gypsgrundes nicht merklich.

§. 450. Es gelang mir, so feine Querschnitte aus getrockneten Menschennerven mit einem Rasirmesser zu bereiten und ohne Veränderung in einer reichlichen Menge von Canadabalsam einzuschmelzen, dass die Markmassen den rothen Gypsgrund in keinem Azimuthe zu ändern schienen. Ich wollte jedoch nicht aus dieser Erfahrung schliessen, dass das Mark einachsig sei und die optische Achse der Länge nach dahingeht, weil das Präparat ausserordentlich dünn war. Drehte ich ein trockenes Nervenbündel des Achselgeflechtes des Menschen um seine Längsachse, die der Achsenebene des rothen Gypses parallel stand, so sank das intensive Gelb zu Blassgelb. Das bei rechtwinkeliger Kreuzung auftretende Blau dagegen stieg zu Blaugrün. Hieraus folgt, dass das Nervenmark wahrhaft positiv wäre, wenn seine optische Achse der Quere nach und wahrhaft negativ, wenn sie in der Längsachse dahinginge. Nun zeigen sich die Fasern von den verschiedensten Seiten in einem fein zerfaserten Nerven. Fiele die optische Achse in einen der Querdurchmesser, so liesse sich erwarten, dass auch ein Mal eine Faser so zu liegen käme, dass die optische Achse in der Richtung der Achse des Polarisationsinstrumentes verliefe.

Jene müsste dann gerade gestreckt unter ± 45° ganz dunkel oder bei grösserer Dicke in der Mitte dunkel und in einiger Entfernung von ihr hell sein. Da man dieses nicht beobachtet, so gewinnt es an Wahrscheinlichkeit, dass die optische Achse der Längenrichtung entspricht und das Nervenmark wahrhaft negativ ist.

§. 451. Die Einschaltung eines Gypsblättchens kann wiederum die Kreuzung von Nervenfasern in einem nicht zu undurchsichtigen Bündel oder den Verlauf derselben in einem mikroskopisch durchforschbaren Nervenknoten durch die Verschiedenheit der Farben verrathen. Die der Wirkung des Bindegewebes, der Wände der kleineren Gefässe und der Muskelfasern entgegengesetzte Aenderung des Nervenmarkes lässt sich als Unterscheidungsmittel in geeigneten Fällen benutzen. Man erkennt auf diese Weise die feinen Neurilemmassen auf Längs- und auf Querschnitten der Nerven. Gute Präparate z. B. des unteren geraden Augenmuskels des Frosches, der sich durch den Reichthum seiner Nervennetze auszeichnet, können dann den grössten Theil von diesen in geeigneten Stellungen in anderen Farben, ähnlich den mit Einspritzungsmasse gefüllten Haargefässen erscheinen lassen. Die hierfür passendsten Gypsblättchen sind: eines von Roth erster und schon weniger ein solches zweiter Ordnung, Gelb zweiter und Grünlichblau dritter Ordnung. Man darf hierbei nicht vergessen, dass die Nervenfasern, welche die Muskelfasern rechtwinkelig kreuzen, in derselben Farbe wie diese bei der Stellung ± 45° erscheinen können und die Färbung um so lebhafter ausfällt, je mehr Fasern neben und vorzugsweise über einander liegen. Hat man durchsichtige Muskeln, wie die Augenmuskeln, den Zungenkiefermuskel oder den Schneidermuskel eines frisch getödteten Frosches, zwischen zwei Glasplatten zusammengepresst, eintrocknen lassen, so tritt der Farbenunterschied ebenfalls hervor.

§. 452. Brachte ich den oberen Theil des *Nervus peroneus* des Frosches auf zwei isolirte Platindräthe, die mit einer Batterie von acht mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Zink-Kohlenelementen oder mit einem starken Magnetelektromotor beliebig verbunden

werden konnten, so bemerkte ich keine Farbenänderung in den an dem anderen Ende zerfaserten Nervenbündeln während des Durchtrittes des beständigen Stromes oder der inducirten Wechselströme. Ich beobachtete das eine Mal die röthlichen Querbänder und die grünen Zwischenbänder bei der Stellung 0^0 und später die grünblauen Nervenbündel, deren Längsachse senkrecht auf der unter 45^0 stehenden Achsenebene des Gypses waren. Da hier die Zerfaserung die Empfänglichkeit der Nervenmasse gestört haben konnte, so wiederholte ich den Versuch mit den dünnsten Hautnerven des Rückens unmittelbar vorher getödteter Frösche, indem die elektrischen Ströme nur durch einen Abschnitt oder durch die ganze Masse geleitet wurden. Jede merkliche Aenderung blieb auch hier aus. Diese Erfahrungen gestatten aber ebensowenig einen Schluss, als ähnliche negative Ergebnisse in Betreff der Muskeln. Die Frage würde sich für beide erst dann genügend entscheiden lassen, wenn man ein Mittel hätte, die Ablenkungscoëfficienten im Zustande der Ruhe und dem der Thätigkeit in vergleichbaren Zahlen anzugeben.

§. 453. Die in Glycerin aufbewahrten VATERschen oder PACINIschen Körperchen aus den Nervenästen in der Nachbarschaft des Schienbeines der Taube zeigten die centrale Nervenfaser unter $\pm 45^0$ leuchtend, während die Kapsel in allen Lagen dunkel erschien, wenigstens keine irgend kräftige Doppelbrechung, selbst nach der Einschaltung eines Gypsblättchens, darbot. VATERsche Körperchen aus dem Gekröse der Katze in Glycerin eingeschlossen, verhielten sich ähnlich. Frische zeigten den umgekehrten Fall, dass nur die Kapsel, nicht aber der Bezirk des Centralcanales auf dem dunkelen Grunde leuchtete. Eine kurz vorher getödtete neun Tage alte Katze dagegen führte im Gekröse Körperchen, deren Kapselschichten positiv in Bezug auf die Längsachse des Ganzen, der dem Centralcanale entsprechende Abschnitt dagegen negativ wirkte. Das letztere rührte vor Allem davon her, dass hier feine Querfasern dahingingen. Die Nervenfaser blieb in der gelben Gesammtmasse kenntlich.

§. 454. Da die entartenden peripherischen Stücke durchschnittener Nervenfasern ihr Mark nach und nach verlieren, so gibt die entgegengesetzte Wirkung des Nervenmarkes und der Hüllen ein gutes Mittel, die Reste des ersteren sogleich zu erkennen. Stellte ich die in Glycerin oder Glycerin-Tannin[1] aufbewahrten Nervenfasern des Hüftnerven von Fröschen, deren Hüftgeflecht vor 168, 174 und 221 Tagen getrennt worden, parallel der Achsenebene des Gypsblättchens von Roth erster Ordnung unter ± 45° ein, so erschienen sogleich die Reste des Markes in der Form von gelben Streifen, während die Hüllen blauviolett waren. Die Fasern des Armnerven einer Taube, der vier Wochen vorher das Achselgeflecht durchschnitten worden, zeigten nur Spuren gelblicher Streifen. Diese fanden sich desto reichlicher in denen des Hüftnerven eines erstarrten Murmelthieres, 31 Tage nach der Trennung. Ich bemerkte schon an einem anderen Orte[2], dass hier bisweilen einzelne geronnene Markreste ein Polarisationskreuz ihrer regelmässigen Schichtung wegen oder sonst auffallende Linien darbieten. Das ungefähr seit 1½ Jahren von Glycerin-Tannin umgebene Präparat der Fasern des Hüftnerven eines Frosches, die 174 Tage nach der Trennung untersucht worden, zeigte noch eine andere Eigenthümlichkeit. Die Flüssigkeit enthielt eine grosse Menge weisser, zum Theil eckiger und spitzer, tetraëdrischer, runder, länglicher oder doppelbrotartiger Gebilde, die dunkele Kreuze oder andere regelmässige Figuren nebst Farbenflecken und Farbenstreifen schon auf dem dunkelen Grunde lieferten. Diese wechselten mit den Azimuthen und wurden noch prachtvoller nach der Einschaltung eines Gypsblättchens. Die Zeichnungen und Farben waren schöner, als die der Stärkmehlkörner, an die sie entfernt erinnerten. Rundliche Kugeln, die sich in einem nur einzelne Markstreifen enthaltenden Glycerinpräparate eines vor 14 Tagen durchschnittenen Hüftnerven des Hundes abgesetzt hatten, verriethen eine starke Doppelbrechung, zeigten aber keine so regelmässigen Figuren.

1. Diese Verbindung hat den Vortheil, die allzugrosse Durchsichtigkeit, welche sonst das Glycerin erzeugt, zu mässigen.

2. HENLE und PFEUFFERS Zeitschrift. Dritte Reihe. Bd. XI. 1861. S. 44. 45.

§. 455. Die Ganglienkugeln oder Nervenkörper besitzen nur eine schwache, oft nicht sicher nachweisbare Doppelbrechung. Sie unterscheiden sich hierdurch wesentlich von dem Nervenmarke und selbst den Hüllen, die sie umgeben. Die des obersten Halsknotens des Sympathicus des Menschen, des Grenzstranges des Sympathicus des Frosches, des GASSER'schen und des Vagusknotens des Hechtes und des Bauchstranges des Flusskrebses leuchten nur schwach und oft kaum merklich auf dunkelem Grunde. Ebenso unbedeutend ist die bisweilen auftretende Aenderung des rothen Gypsgrundes in Gelb. Der letztere Farbenwechsel zeigte sich etwas deutlicher in den Nervenkörpern des Ganglienstranges des europäischen Scorpiones und nachdrücklicher in denen des Augenknotens des Menschen, die seit Jahren in Glycerin aufbewahrt gewesen. Frische Ganglienkugeln aus dem obersten Halsknoten des Menschen können eine lebhaft gelbe Farbe darbieten, wenn sie selbst oder die ihnen oft aufliegenden Pigmentmassen eine gelbliche, röthliche oder bräunliche Färbung schon in gewöhnlichem Lichte zeigen.

§. 456. Da sich die Hüllen der Nervenkörper und die als REMAK'sche, organische oder gallertige Fasern beschriebenen Scheidenfortsätze gegen die Färbung des Gypsgrundes, wie Bindegewebe, also entgegengesetzt wie Nervenmark verhalten, so muss man sich vor Täuschungen, welche diese Gebilde verursachen können, bei der Untersuchung der durchsichtigen Ganglien in Acht nehmen. Die durch die Zerfaserung gesonderten, in der umgebenden Flüssigkeit schwimmenden Nervenkörper des Menschen, des Kaninchens und des Frosches sind so schwach doppelt brechend, dass sie oft den rothen Gypsgrund kaum oder gar nicht ändern. Dasselbe wiederholt sich bisweilen, wenn sie noch in ihren dünnen Hüllen liegen. Sind diese aber stärker, gehen Zellgewebebündel über sie hinweg, so tritt die kraftvollere Wirkung hinzu. Es kommt häufig vor, dass man eine bipolare Ganglienkugel auf das Schärfste vor sich zu haben glaubt. Die Einschaltung des rothen Gypsblättchens führt aber zur Wirkung des Bindegewebes und nicht des Nervenmarkes. Man begegnet diesem

Falle häufig genug in dem Frosche. Hat man den obersten Halsknoten des sympathischen Nerven des Menschen oder des Kaninchens zerfasert, so werden die markigen Nervenfasern gelb, die Scheidenfortsätze dagegen blau oder violett bei +45° auf dem rothen Gypsgrunde. Dieser Unterschied erhält sich noch am Anfange der Kaliwirkung, verliert sich aber mit der Auflösung des Nervenmarkes. Die Fäulniss kann die Doppelbrechung der Scheidenfortsätze aufheben.

§. 457. Untersucht man den Grenzstrang der sympathischen Nerven des Frosches oder den Gasserschen Knoten des Hechtes, nachdem man ihn in Canadabalsam eingeschmolzen, so findet man keine irgend stärkere Doppelbrechung der Ganglienkugeln. Das Mark scheint an vielen Stellen geschwunden. Es wirkt dagegen, wie früher, wo es vorhanden ist. Das Gleiche gilt von der Begrenzungshaut und dem Bindegewebe. Dasselbe wiederholt sich an Präparaten aus dem Sympathicus des Menschen und des Kaninchens.

§. 458. Die nicht durch Wasser veränderten Stäbchen der Jacobschen Membran der Netzhaut des Frosches wirken mit ihrer Längsachse verhältnissmässig positiv auf ein Gypsblättchen, also entgegengesetzt, wie das Nervenmark, das den gewöhnlichen Charakter auch in den Fasern des Sehnerven darbietet. Man sieht dieses sehr schön an den Nervengeflechten in der Netzhaut des Kaninchens, besonders in der Nachbarschaft der Eintrittsstelle des Sehnerven. Ich habe es aber auch an denen des Frosches bemerkt. Die Körner der Netzhaut des Menschen färben den rothen Gypsgrund erster Ordnung deutlich gelblich, die des Frosches dagegen oft in keiner irgend auffallenden Weise.

§. 459. Das Mark der centralen Nervenfasern des Menschen, des Kaninchens und des Frosches bietet wiederum die in Bezug auf seine Längsachse verhältnissmässig negative, die Begrenzungshaut die positive und die centralen Ganglienkugeln eine jedenfalls sehr schwache, oft aber zweifelhafte Doppel-

brechung dar. Eine einzige schmale variköse Faser aus dem Sehhügel des Kaninchens reichte hin, die gelbe Färbung nachdrücklich zu zeigen, wenn die Längsachse der Achsenebene des rothen Gypses bei 45° parallel stand. Fasern aus einem in Chromsäurelösung erhärteten verlängerten Marke des Menschen, das sehr brüchig geworden war, lieferten noch deutlich die verhältnissmässig negative Wirkung der Markmassen. Oeltropfen dagegen, welche aus dem faulenden Gehirn eines Hechtes ausgetreten waren, änderten den rothen Gypsgrund in keiner irgend auffallenden Weise.

§. 460. Die gegenwärtig zu Gebote stehenden Hilfsmittel lassen keinen Unterschied in der Doppelbrechung erkennen, je nachdem ein Frosch durch Enthauptung oder in Aetherdampf getödtet worden.

XIII. Blut- und Lymphkörperchen und krankhafte Ausschwitzungen.

§. 461. Die frischen oder eingetrockneten Blutkörperchen des Menschen zeigen helle Ränder oder Randhälften auf dem dunkelen Grunde, selbst wenn man alles Seitenlicht möglichst abhält, eine Erscheinung, die sich nicht selten an kleinen einfach brechenden Massen ebenfalls findet. Sie ändern nicht merklich den Farbengrund der meisten Gypsblättchen vermöge der Doppelbrechung, hin und wieder aber natürlich durch Mischung der Grundfarbe mit Roth. Eine Bravaissche Doppelplatte (§. 226) liefert in dieser Hinsicht keine belehrenderen Ergebnisse. Ein Gypsblättchen von Roth erster Ordnung lässt sie deutlich gelb erscheinen. Ich fand das letztere auch an den eingetrockneten Blutkörperchen des Affen, des Hundes, der Katze, des Bären, des Fischotters, des Murmelthieres, des Stacheligels, des Kaninchens, der Ratte, der Maus, des Pferdes, des Kalbes, des Moufflons, des Dammhirsches, des Adlers, des Sperbers, des Thurmfalken, des Kukuks, des Papageies, des Rothkäppchens, einer mit Krapp gefütterten Taube, der Schwalbe, des Haushuhnes, des 2 bis 10tägigen Hühner-

embryos, der Moschusente, der mauritanischen Schildkröte, der Natter, der Mauer- und der grünen Eidechse, des Frosches, des schwarzen Salamanders, des Wassermolches, des Brachsen, der Pricke, des Flusskrebses und des Maikäfers. Die grösseren Körperchen z. B. der Schildkröte liessen keinen Färbungsunterschied zwischen Hülle und Kern erkennen.

§. 462. Die farblosen Blutkörperchen des Frosches verhalten sich ähnlich, wie die farbigen. Der eingetrocknete *Chylus* eines Hingerichteten färbte den Gypsgrund deutlich violett, die Körner aus dem *Pancreas Asellii* des Kaninchens dagegen änderten ihn nicht in merklicher Weise.

§. 463. Frische Eiterkörperchen erschienen weiss auf dunkelem und bisweilen kaum merklich gelb auf dem rothen Gypsgrunde erster Ordnung. Ein grösserer Haufen derselben bedingte auch violette Färbungen an einzelnen Stellen. Als doppelt brechend erwiesen sich die in Glycerin aufbewahrten mikroskopischen Präparate von krystallinischen Ausscheidungen aus einem Lipom des Gekröses, solchen eines Brustkrebses, einer beginnenden Verknöcherung der harten Hirnhaut, geschichteten Concrementen aus der Aderhaut des Auges, solchen und Krystallen der Schleimhaut der Gallenblase, solchen aus einem Atherome des Hodensackes, einer Verknöcherung der Achillessehne des Kalbes, einer Exostose des Oberschenkels des Menschen, der Tuberkelmasse aus dem Innern der Speiche eines Menschen, dem verkalkten (nicht aus ächter Knochenmasse bestehenden) Lungentuberkel des Pferdes, einem Epitheliom der Vorhaut, einem Faserpolypen der Gebärmutter, der Fasermasse des Brustkrebses, einem Magenkrebse, einem Osteosarkom des Oberkiefers, einem Sarkom der Schultergegend, einem Markschwamme des Hodens, die in Tannin-Glycerin eingeschlossenen Proben der Narbenmasse einer Hautwunde des Oberschenkels, der Pseudomembranen in Folge von Bauchfellentzündung, deren Faserbündel verhältnissmässig positiv in Bezug auf ihre

Länge wirkten, eines Markschwammes des Hodens, eines solchen der Leber und der grossen mit Tochterzellen versehenen Krebszellen eines Gesichtskrebses, endlich die in einer Lösung von Chlorcalcium befindlichen Massen eines Markschwammes der Brustdrüse. Die Doppelbrechung der Schmarotzerschimmel ist schon §. 313 und die der sogenannten *Corpuscula amylacea* aus den Adergeflechten des Gehirns §. 272 behandelt worden.

XIV. Formbestandtheile des Samens und des Eies.

§. 464. Die eingetrockneten Spermatozoiden des Menschen, des Bären, des Kaninchens, des Meerschweinchens, der Ratte, des Pferdes, des Maulesels[1], des Widders, des Wetterfrosches, der Feuerkröte, des schwarzen Salamanders, die von *Triton cristatus* und *Wurfbeinii* (mit den Abtheilungen der Flimmermembran), des *Petromyzon fluviatilis*, der *Helix nemoralis*, des *Arion empiricorum*, des *Scorpio europaeus* und des *Lumbricus terrestris*, sowie die in Tannin-Glycerin aufbewahrten Spermatozoiden von *Rana temporaria* und *Helix pomatia* leuchteten silberweiss und mit verhältnissmässig bedeutender Lebhaftigkeit auf dem dunkelen Grunde. Dasselbe wiederholte sich für die Samenzellen des Kaninchens und die des schwarzen Salamanders. Die Einschaltung eines Gypsblättchens führte hier zu keinen befriedigenden Ergebnissen, da oft nur gelbe Färbungen mit Deutlichkeit auftraten. Das Gleiche wiederholte sich meistentheils, wenn ich schwingende Spermatozoidenbündel von *Rana temporaria* zur Untersuchung benützte. Ich glaubte jedoch in günsti-

1. Unsere Sammlung mikroskopischer Präparate besitzt eine Reihe von Exemplaren von Spermatozoiden, die von einem Maulthiere nach der Angabe von GERBER und WINKLER stammen. (Siehe die negativen Ergebnisse von HAUSMANN in R. WAGNERS Lehrbuch der speciellen Physiologie. Dritte Auflage. Leipzig 1845. 8. S. 31. 32 und die zum Theil positiven Angaben von BROCA in *Journ. de Physiol. de Brown-Séquard*. Tome II. 1859. 8. p. 218—50.) Der Kopf, der blasser als der Schwanz ist, erscheint bei schwächeren Vergrösserungen spindelförmig, bei stärkeren dagegen vorn schwach abgerundet. Er und der Schwanz haben eine bedeutendere Länge und Breite als in den Spermatozoiden des Pferdes.

gen Fällen wahrzunehmen, dass sie positiv in Bezug auf die Längsachse wirkten.

§. 465. Die Eier liefern im Ganzen wenig Ausbeute für das Polarisationsmikroskop. Die Oeltropfen des Dotters der Vögel, der Frösche, des Krebses zeigen zwar helle einseitige Ränder auf dem dunkelen Gesichtsfelde. Die Einschaltung eines Gypsblättchens liefert aber kein deutliches Zeichen von Doppelbrechung. Diese Erfahrungen wiederholen sich auch meist bei der Untersuchung des Dotters, nachdem er Jahre lang in Weingeist gelegen hat. Nur längliche Massen aus dem Dotter eines alten Weingeistexemplares von *Salamandra atra* schienen eine Spur von Doppelbrechung darzubieten. Ein dünner Abschnitt des Eierstockes eines Frosches, der seine reifen Eier zwei Tage vorher entleert hatte, liess nicht bloss die starke Doppelbrechung des zwischen den jungen Eiern sich hinziehenden Bindegewebes, sondern auch eine deutlich negative Wirkung einzelner Eifiguren auf ein Gypsblättchen erkennen. Diese rührte aber vermuthlich von den Hüllen her. Die Dotterplättchen von *Triton* ändern den Gypsgrund gar nicht oder nur spurweise.

Hatte ich das Eichen, die *Zona pellucida*, den *Discus proligerus* und die *Membrana granulosa* des Follikels des Kaninchens auf dem dunkelen Grunde, so erschienen Ei und Gürtel dunkel, die Scheibe und die Körnerhaut dagegen weiss. Jene wiederholten auch den rothen Gypsgrund, den diese schwach violett machten.

XV. Embryonale Gewebe.

§. 466. Ein Hühnerembryo aus der Mitte der Brütezeit (10. bis 12. Tag) liefert einen guten Ausgangspunkt für die Untersuchung der sich entwickelnden Gewebe in polarisirtem Lichte, weil dann manche Theile, wie die Krystalllinse und die jüngeren Muskelfasern die ersten Anfänge und andere, wie die Anlage der Federn eine etwas höhere, die Hornhaut eine noch entschiedenere und die Sehnen die fortgeschrittenste Stufe der Doppelbrechung darbieten. Die Blutkörperchen erscheinen weissglänzend auf dunkelem

und gelblich auf dem rothen Gypsgrunde erster Ordnung. Die Federn, die aus einem blossen, von einem Blutgefässe durchzogenen Schafte ohne Fahne bestehen, brechen das Licht deutlich doppelt und wirken mit ihrer Längsachse verhältnissmässig positiv. Die Doppelbrechung des hornigen Schnabels, der Fussschilder und der auch in Bezug auf ihre Längsachse verhältnissmässig positiven Hornstücke der Zehen lässt sich mit Hilfe des Gypsblättchens von Roth erster Ordnung entschieden, minder nachdrücklich dagegen auf dem blossen schwarzen Grunde nachweisen. Die Muskelfasern des Oberschenkels, die noch schmale Röhren ohne Querstreifen bilden, wirken schwach doppelbrechend und verhältnissmässig positiv mit ihrer Längsachse. Viele von ihnen zeigen abwechselnd farbige Bänder, die also nicht mit den Querstreifen zusammenhängen (§. 431). Einzelne der stärker entwickelten Fasern der Rückenmuskeln und vorzugsweise des Vorhofes ändern auch weit kräftiger die rothe Farbe des Gypsgrundes. Die Sehnen der Oberschenkelmuskeln sind in ihrer Entwickelung weiter vorgeschritten als die entsprechenden Muskelmassen. Sie zeigen wellige gebogene Bündel in gewöhnlichem und eine sehr nachdrückliche Farbenänderung des Gypsgrundes mit prachtvollen Quer- und Zwischenbändern in polarisirtem Lichte. Die Fasern des Muskelmagens verrathen schon einen ziemlich hohen Grad von Doppelbrechung und sind verhältnissmässig positiv in Bezug auf die Längsachse ihrer Bündel. Das letztere wiederholt sich für die Querfasern des Mastdarmes, dessen zierliche Zickzacke keine den verschiedenen Azimuthen $\pm 45^0$ entsprechende Farbenunterschiede der Schleimhautfalten liefern. Die häutigen Massen, die längs der Luftröhre hinabgehen, wirken nachdrücklich und in Bezug auf die Längsrichtung positiv. Da die der Breite entsprechende Längsachse der Luftröhrenringe auf der jener häutigen Massen senkrecht steht und diese Gebilde ebenfalls verhältnissmässig positiv wirken, so zeigen die Seitenstreifen die Ergänzungsfarben der Luftröhrenringe. Die letzteren besitzen jedoch nur schwache doppelt brechende Kräfte, so dass der Unterschied der Farbenstärke beträchtlich ausfällt. Weder die Hornhaut, noch die Linse gaben mir ein deutliches Kreuz. Das Gypsblätt-

chen entwickelte aber in jener eine negative Wirkung der sehr starken und in dieser eine positive der sehr schwachen Doppelbrechung. Die Hirn- und die Rückenmarksmasse boten keine unzweifelhafte Doppelbrechung dar.

§. 467. Das Eintrocknen und das spätere mit Erwärmung verbundene Einschmelzen in Canadabalsam wirkten sehr ungleich auf diese Gewebe. Die Federn behielten eine starke, im Verhältniss der Längsachse positive Doppelbrechung und gaben ein vollständiges dunkeles Viereck gleicher und entgegengesetzter Gangunterschiede längs des ganzen Bezirkes, in dem sie sich rechtwinkelig kreuzten. Die kräftige Doppelbrechung mit dem ursprünglichen Charakter erhielt sich in den einfachen Muskelfasern des Mastdarmes, in den Seitenstreifen der Luftröhre, fast gar nicht aber in den Ringen. Sie verstärkte sich in mässigem Grade in der Krystalllinse und sehr merklich in der Hornhaut, verlor sich aber beinahe gänzlich in den Hornschildern des Fusses und in denjenigen quergestreiften Muskelfasern, welche die ersten Spuren doppelt brechender Eigenschaften dargeboten hatten.

§. 468. Ein 23 Centimeter langer frischer Rindsembryo diente, um diese am Vogelembryo gewonnenen Ergebnisse mit den Verhältnissen der Säugethiere zu vergleichen. Ein mit dem Doppelmesser gemachter Längsschnitt durch die weiche gelblich weisse Hornmasse der Klaue wirkte trotz seiner Dünne stark negativ in Bezug auf seine Längsachse, die einer der beiden neutralen Richtungen entsprach. Ein ebner feiner Querschnitt erwies sich als positiv in Beziehung auf die radiale Richtung. Die noch schmalen, aller Querstreifen entbehrenden Muskelfasern des grossen Gesässmuskels erschienen stark doppelbrechend und wirkten mit der Längsachse positiv. Die Sehnenbündel der Achillessehne zeigten schon feine regelmässige Querstreifen in dem gewöhnlichen Lichte. Sie lieferten die zierlichsten abwechselnd rothen und gelben oder rothen und blauen, wie mit dem Lineal gezogenen Bänder, wenn man sie unter 0° oder 90° gestellt und ein rothes Gypsblättchen erster Ordnung eingeschaltet hatte. Die dün-

neren Bündel gaben rein blaue oder gelbe Farben, die dicken dagegen auch grüne oder grüngelbe und weissgelbe Flächenfarben. Gallertiges Bindegewebe der Augenhöhle zeigte die erste Spur von Doppelbrechung. Die Fasern und Faserbündel der WHARTONschen Sulze des Nabelstranges wirkten entschieden positiv zur Längsachse im Gegensatze zu der zwischen ihnen befindlichen Gallertmasse, die den rothen Gypsgrund nicht merklich zu ändern schien. Die Pupillarhaut und die Substanz der Darmzotten lieferten ebenfalls kein Zeichen der Doppelbrechung. Die einfachen Muskelfasern des Blättermagens dagegen waren entschieden positiv in Bezug auf die Längsachse. Dieses wiederholte sich auch für die Seitenzweige und den Hauptstamm des Hüftnerven und die Aeste des Brusttheiles des Grenzstranges des Sympathicus. Man konnte auch noch keine Spur von Nervenmark in den Primitivfasern wahrnehmen. Die Doppelbrechung der Körner der grauen Hirnmasse liess sich nicht unzweifelhaft nachweisen. Fasermassen des verlängerten Markes wirkten spurweise positiv in Rücksicht der Längsachse. Die Hornhaut, die ein schwarzes Kreuz mit negativem Charakter ergab, besass schon eine kräftige Doppelbrechung und wirkte weit stärker, als die Krystalllinse, die keine Kreuzfigur und nur die ersten Anfänge positiven Einflusses darbot.

§. 469. Ein feiner Längsschnitt durch den Kopf des Schienbeines gab eine ziemlich lebhafte verhältnissmässig negative Wirkung des Knorpels in Bezug auf die Längsachse und eine relativ positive für die der Knochenblätter. Jener erschien daher z. B. gelb und diese blau oder umgekehrt. Man sah am Verknöcherungsrande, wie die schmalen blauen Blätter zwischen die gelbe Knorpelsubstanz vordrangen. Aehnliche Blätter oder Streifen zeigten sich aber auch in der übrigen Masse des Knorpels zerstreut und ohne Zusammenhang mit dem in dem Schnitte sichtbaren Verknöcherungsrande. Sie erwiesen sich ebenfalls als Knochenrudimente. (Vgl. §. 383). Die in Längsreihen gestellten Gruppen der Knorpelkörper erschienen häufig bei stärkeren Vergrösserungen als violettrothe Bezirke. Ein Querschnitt desselben Epiphysen-

knorpels wirkte verhältnissmässig negativ in Bezug auf den Halbmesser und enthielt ebenfalls blaue Knochenbälkchen, wenn er selbst gelb erschien. Ein Querschliff des Oberschenkelbeines lieferte eine negative Wirkung für die kreisförmige Umgebung eines quer durchschnittenen Markkanales und ein Längsschnitt eine in Bezug auf die Länge positive Wirkung für die Längsachse der Knochenbalken. Man hatte also dieselben Grundeigenschaften, wie in dem völlig ausgebildeten Knochen. Die concentrischen gelben Bänder der Wirbelsäule zeigten ohne Vergrösserung ein schönes Kreuz mit verhältnissmässig negativer Wirkung nach dem Eintrocknen und der Behandlung mit Canadabalsam.

§. 470. Die sternförmigen, netzartig verbundenen Zellenfasern aus dem Zahnkeime erschienen positiv in Bezug auf ihre Längsrichtung. Die Schmelzmembran verrieth deutliche Doppelbrechung, vorzugsweise sowie sie zu verkalken begonnen hatte. Die sich später zur Bildung der Zahnscherben ablagernden Kalkkörner liessen das Gleiche erkennen, so lange sie noch durchsichtig genug waren.

§. 471. Das Trocknen und Einschmelzen in Canadabalsam verstärkte hier die Doppelbrechung der Hornmasse des Hufes, der Fasern des Gesässmuskels, der Achillessehne, der faserigen Bindegewebmassen in dem Gehirn, dem Rückenmarke, dem Grenzstrange des Sympathicus, wo sich prachtvolle verschiedenfarbige Querbänder erzeugten, in der Muskelhaut des Blättermagens und im Zahnkeime. Ein ziemlich starkes doppelt brechendes Vermögen verrieth sich noch in einzelnen (jüngeren) Muskelfasern und in manchen Bündeln des Hüftnerven, sowie in der WHARTONschen Sulze, eine geringe in einzelnen Knorpeln und keine deutliche Spur in der Schenkelbinde, der Pupillarhaut und dem gallertigen Bindegewebe aus der Augenhöhle. Die Hornhaut hatte ihr Kreuz verloren, ihre verhältnissmässig negative Wirkung dagegen mit vielem Nachdruck beibehalten.

§. 472. Beide diesen Beobachtungen zum Grunde liegenden Embryonen konnten ihre Beine bewegen. Da die Fasern des Rindsfötus keine Spur der negativen Wirkung des entwickelten Nervenmarkes zeigten, so folgt, dass dieses keine unerlässliche Bedingung für die Uebertragung der Erregung von dem Rückenmarke nach den Muskeln des Hinterbeines bildet. Dasselbe lässt sich von den Querstreifen der Muskelfasern, die noch gänzlich mangelten, aussagen. Da aber diese Fasern nicht selten den angenommenen Disdiaklasten entsprechende Bänder lieferten (§. 428), so ergibt sich, dass diese von der Querstreifenbildung nicht abhängen. Dasselbe bestätigt sich auch dadurch, dass die gleichen Bänder an der frischen und der eingetrockneten Achillessehne des Rindsfötus vorkamen und sogar an dem Grenzstrange des Brusttheiles des Sympathicus erst nach dem Eintrocknen und dem Einschmelzen in Canadabalsam sichtbar wurden. Die Muskelfasern des Hühnchens zeigten nur die ersten Anfänge der Doppelbrechung, als das Verkürzungsvermögen schon sehr kräftig entwickelt war. Jene steht also in keinem bedingenden Verhältniss zu diesem.

§. 473. Befanden sich die quergestreiften Muskelfasern der Extremitäten auf derjenigen Entwickelungsstufe, wo ihre doppelt brechenden Eigenschaften noch sehr schwach waren, so verriethen die einfachen Fasern des Magens oder des Mastdarmes schon eine starke Doppelbrechung. Derselbe Gegensatz zeigte sich zwischen der nachdrücklichen Wirkung der Hornhaut und der geringen der Krystalllinse. Standen auch noch die Muskeln auf jener ersten Entwickelungsstufe der Doppelbrechung, so hatten sie doch schon oft Sehnen, die eine merkwürdig kräftige Wirkung dieser Art ausübten. Die stärker doppelt brechenden Gewebe folgen im Allgemeinen der Norm, dass die Grösse ihrer zwiefachen Strahlenbrechung durch das Eintrocknen und die Behandlung mit Canadabalsam zunimmt. Man findet das Gegentheil in manchen Geweben, wenn sie noch sehr schwach doppelt brechen. Diese ersten Stufen der Entwickelung zeigten mir keinen sicheren Fall, in dem der Charakter von dem späteren der ausgebildeteren Theile abgewichen

wäre. Die Muskeln, die Sehnen, die Bündel des Bindegewebes haben von Anfang an ihre positive Wirkung in Bezug auf die Längsachse, die Hornhaut und die Knochen ihre negativen und die frische Krystalllinse wiederum ihre positiven Merkmale.

Verbesserungen.

S. 45 Z. 1 v. o. statt Polarisationsebene lies Polarisationsebenen.

S. 114 Z. 4 v. o. statt die dünnen lies die der dünnen.

S. 239 Z. 5 v. u. statt der Nase des Zanders, l. der Nase, des Zanders.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.



